FOR THE PEOPLE
FOR EDVCATION
FOR SCIENCE

LIBRARY
OF
THE AMERICAN MUSEUM
OF
NATURAL HISTORY

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

5.06 (49.3) B

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XXIX — 20 JANVIER 1921

(QUARANTIÈME ANNÉE ; TOME LXXIX DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(M. F. Willaert)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1921

22.88530 June 27

Connaissons-nous le Plan de l'Univers ?

C'est toujours pour moi un étonnement nouveau de constater à quel point les anciens, dont l'imagination fut cependant si riche, restèrent dans l'ignorance de la structure de l'Univers. En admettant même qu'ils n'eussent aucun moyen de supputer les distances célestes, un fait aurait dû les frapper, je veux dire la disposition des étoiles sur le firmament. Car personne n'y fait allusion. Galilée lui-même, qui ne vint qu'au XVIIe siècle, n'y pensa pas. Kepler à la même époque se hasardait à dire : « La place où est situé le Soleil est près de l'anneau stellaire qui forme la Voie lactée. Cette position est indiquée par cette circonstance que la Voie lactée présente à peu près l'aspect d'un grand cercle, et que l'intensité en est sensiblement la même dans toutes ses parties » (1), mais l'illustre savant, dont le génie intuitif devait construire la base de la Mécanique céleste, ne soupçonna même pas que l'accumulation des étoiles augmente à mesure que nous approchons de la Voie lactée.

Celui qui le premier paraît s'être formé une idée très approchée de la constitution du monde stellaire, fut Thomas Wright, fils d'un charpentier de Byer's Green, près de Durham. Son *Hypothèse de l'Univers,* parue en 1750, renferme des aperçus vraiment remarquables pour l'époque : Th. Wright regardait, en effet, « les

(1) Cité par Arago : ASTR. POP., p. 7, t. II.

étoiles fixes non comme une fourmilière dispersée sans ordre et sans dessin, mais comme un ensemble d'astres soumis à une organisation systématique et obéissant à une attraction générale vers un plan principal des espaces qu'ils occupent ».

Kant publia sa *Théorie du Ciel* en 1755 et ce fut là qu'il reprit pour son propre compte l'idée de Wright, mais non toutefois sans la perfectionner : « Si l'on jette les yeux sur le ciel étoilé par une nuit bien claire, on y remarque une bande lumineuse, où une multitude d'étoiles plus condensées que partout ailleurs, se confondent en raison de leur grand éloignement et produisent une blancheur uniforme, à laquelle on a donné le nom de Voie lactée ». Elle suit sans interruption, dans sa continuité, la trace d'un grand cercle dans le ciel. Kant conclut alors que les étoiles se massent les unes derrière les autres au voisinage de ce plan qui passe par notre point de vue. Même « les étoiles, ajoute-t-il, qui ne sont pas comprises dans la bande blanchâtre de la Voie lactée, paraissent d'autant plus pressées et ramassées qu'elles sont plus voisines de cette zone; si bien que, des deux mille étoiles que l'œil nu aperçoit au ciel, la plus grande partie se rencontre dans une zone assez étroite, dont la Voie lactée occupe le milieu » (1).

L'idée était bien lancée cette fois ; elle était simple, elle faisait image, elle devait attirer l'attention des astronomes. Aussi, lorsque William Herschel, vingt années plus tard (1775), entreprit sa première « revue du ciel », son but n'était pas seulement de découvrir des astres nouveaux, mais de reconnaître la construction intime de l'Univers : « Ceci, disait-il lui-même en 1811, a toujours été le but ultime de mes observations ».

(1) *Histoire générale et Théorie du Ciel* de Kant : Traduction de C. Wolf, p. 133 et suiv.

En fait, toutes ses notes, tous ses mémoires, tous ses écrits le ramenaient à cette question fondamentale ; mais pour connaître ses hypothèses successives, les moyens mis en œuvre pour les vérifier ou les infirmer, pour jouir de la façon vive et alerte, dont il exposait ses idées, il faut parcourir les trente-neuf volumes des PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS de la *Royal Society* de Londres. C'est là, dans plus de soixante-dix Mémoires, qu'il montre, en un style toujours vigoureux et ardent, les différentes théories qu'il imagine de 1780 à 1818 pour satisfaire les résultats de ses extraordinaires observations.

Ses premières conclusions furent publiées en juin 1784 : La Voie lactée telle qu'elle nous apparaît ne serait qu'une projection d'un disque plat, de contour très irrégulier avec une profonde fissure, correspondant aux deux branches entre le Cygne et le Scorpion. C'était, sinon se rallier aux idées de Wright, du moins les appuyer à l'aide de la méthode expérimentale.

Mais bientôt Herschel revint sur ses propres conclusions : la fameuse « Théorie du disque plat » ne satisfaisait plus son esprit ; pour rendre compte des jauges stellaires et de la distribution apparente des étoiles, il fallait admettre que ces dernières étaient répandues plus ou moins uniformément à l'intérieur d'un volume immense, rappellant grossièrement une lentille biconvexe.

Quant à l'étendue de cette gigantesque formation, Herschel désespéra toujours de pouvoir la fixer approximativement : « Je ne puis avec mon télescope de vingt pieds, écrivait-il, sonder la profondeur de la Voie lactée. Notre Soleil, ainsi que toutes les étoiles visibles à l'œil nu, forment un amas central, profondément plongé dans la Voie lactée, dont il fait partie intégrante. Et si, en certains endroits, nous ne pouvons pas résoudre complètement cette formation, c'est qu'elle est réellement insondable, sans limite ».

En même temps l'attention d'Herschel avait été dirigée vers une autre partie de la question, celle qui concerne les amas et les nébuleuses. Faisaient-ils partie intégrante de notre système sidéral, de *notre Univers* en un mot ?

Ici encore, Herschel semble s'être laissé aller à accepter les idées de Wright, de Kant et de Lambert, qui avaient cours à son époque.

L'auteur de la *Théorie de l'Univers* avait écrit, en effet, à propos de « nombreuses taches nuageuses tout juste perceptibles » : « celles-ci, selon toute vraisemblance, peuvent être une création extérieure, limitrophe de la création connue, trop éloignée pour être atteinte même par nos lunettes ».

Aussi, lorsqu'en 1785, après avoir prôné la *Théorie du disque*, William Herschel parle de ses découvertes de nébuleuses, il annonce qu'il a catalogué « quinze cents systèmes sidéraux complets, dont quelques-uns pourraient bien surpasser notre Voie lactée en grandeur ».

Telle fut, à vrai dire, l'origine de la fameuse hypothèse des *Univers-Iles* qui devait tenir une place prépondérante dans la littérature astronomique pendant près d'un siècle. Une idée aussi audacieuse, servie par un observateur aussi habile que l'était l'astronome hanovrien, était bien faite pour exciter l'imagination des romanciers de la science, et ces derniers ne se firent pas faute de l'exploiter.

Au reste, même à la fin de sa vie, Herschel, malgré l'évolution de ses idées, caressait encore la théorie des Univers-Iles.

Celle-ci ne fit que prendre consistance au cours du XIXe siècle, lorsque les astronomes eurent en leur possession les formidables instruments modernes, le grand télescope de Lord Rosse ou les beaux réfracteurs américains. Les nébuleuses qu'on ne pouvait

résoudre en étoiles, furent jugées de la même nature que les autres ; leur éloignement seul les rendait irrésolubles.

Entretemps, les catalogues célestes s'étaient complétés et les statisticiens n'avaient pas manqué de fournir des chiffres. Or, le premier résultat ne se montra pas du tout favorable à la fameuse théorie des Univers-Iles. Un examen attentif de la distribution des amas et des nébuleuses prouve, en effet, que si le nombre des premiers s'accroît en approchant de la Voie lactée, les nébuleuses au contraire semblent fuir les abords de cette vaste ceinture pour se presser vers les pôles galactiques (1).

Une telle disposition paraît bien de prime abord indiquer une sorte de parenté, sinon une véritable filiation, entre ces différents objets ; étoiles, amas ou nébuleuses feraient donc partie d'un même ensemble et, dès lors, il ne saurait être question de galaxies extérieures (2).

Ce fut bien autre chose lorsqu'en 1864, Huggins et les spectroscopistes qui le suivirent, montrèrent que bon nombre de nébuleuses ne sont que de vastes amas de gaz et non des entassements d'étoiles analogues à notre Voie lactée.

L'opinion astronomique de cette époque est fort bien résumée par ces lignes que Proctor écrivait en 1872 : « Toutes les nébuleuses découvertes jusqu'ici, gazeuses ou stellaires, irrégulières, planétaires, en forme d'anneau ou elliptiques, existent dans les limites du système sidéral. Elles sont toutes parties et portions de ce merveilleux système, dont les plages, plus rapprochées et plus brillantes, constituent la gloire de nos cieux nocturnes ».

(1) Cf. Pub. of Astr. Soc. of Pacific. (Ap. 1918, art. de Curtis).

(2) Le terme *Galaxie* est souvent employé pour désigner la Voie lactée ou un objet analogue, s'il en existe dans le ciel.

Ainsi, peu à peu, s'évanouissaient les vues hypothétiques des précurseurs : nous habitions un Univers bien délimité et qui renfermait tous les objets célestes accessibles à nos instruments : telles étaient les conclusions souvent citées des plus hautes autorités en la matière, Gore et Newcomb par exemple (1).

Les vues du vieil Herschel n'étaient pas complètement infirmées quant à la structure même de notre Univers, mais des évaluations grossières et à peine approximatives avaient suffi, semble-t-il, pour montrer que plusieurs nébuleuses parmi les plus belles, étaient à des distances moindres que les plus lointaines étoiles de la Voie lactée. Tel était le cas, par exemple, de la nébuleuse d'Andromède, qui n'était située, disait-on, qu'à une vingtaine d'années-lumière

En résumé, l'ensemble des travaux de la fin du XIXe siècle et de la première décade du XXe, nous amenait aux conclusions suivantes :

1° Notre Univers comprenait des étoiles, des amas stellaires et des nébuleuses.

2° Le tout était renfermé dans un volume à peu près sphérique et dont les parties équatoriales étaient réservées aux étoiles proprement dites ; cette sorte de disque devait avoir une assez grande épaisseur, mais la densité, à son intérieur, était loin d'être homogène : presque nulle au centre, c'est-à-dire dans les régions où vogue notre Soleil, elle s'accroissait très vite vers les bords. Il en résultait que la partie la plus dense des étoiles nous apparaissait comme une sorte d'anneau, dont le plus grand rayon touchait aux confins de la Voie lactée. Celle-ci, comme dans la théorie d'Herschel, était donc bien due à une accumulation d'étoiles vers un plan médian de l'Univers, celui sur lequel se déroulait le tore, dont nous avons parlé.

(1) La question est admirablement résumée dans *The System of the Stars* de Miss Clerke, publié en 1905.

Quant aux dimensions absolues du système galactique, on en était évidemment réduit à des conjectures, puisque nous n'avions aucun moyen direct d'évaluer la parallaxe, donc la distance, des plus lointaines étoiles. Toutefois, des savants travaux de Newcomb, on avait déduit un diamètre d'environ 6000 années-lumière (1). En 1914, Eddington, par des vues qu'on jugeait audacieuses à l'époque, était allé jusqu'à 14 000 années-lumière (2). Comme notre soleil occupe une position quasi centrale, on pouvait conclure que les plus faibles étoiles de la Voie lactée étaient éloignées de nous d'environ six ou sept mille années-lumière.

3° Quant aux amas stellaires, on avait constaté depuis longtemps qu'ils avaient tendance à se grouper aux abords de la Voie lactée, mais au-dessus et au-dessous de son plan principal. La Galaxie elle-même n'en renfermait pas et le fameux amas solaire imaginé par Gould (3), Sulton (4) et Stratonof (5), s'était évanoui en fumée sous la critique dissolvante de Kapteyn en 1901.

4° En ce qui concerne les nébuleuses, il y a lieu de faire une distinction très nette suivant les types. Les nébuleuses dites planétaires, sortes d'objets énigmatiques, toutes probablement gazeuses et de peu d'étendue, semblent s'apparenter aux amas dans leur distribution sur la sphère céleste ; comme eux, elles paraissent rechercher les abords de la Galaxie. Il n'en va plus de même des autres nébuleuses parmi lesquelles le type spiral est de beaucoup le plus prédominant.

(1) S. Newcomb : *The Stars*, p. 319 (London, 1902).
(2) Eddington : *Stellar movements and Structure of the Universe*, p. 32 (London, 1914).
(3) Cf Newcomb, op. j. cit., p. 243.
(4) V. Knowledge, July 1891.
(5) V. Bull. Soc. Astr. Fr., 1904, p. 357.

Celles-ci ont été cataloguées par dizaines de mille, mais nous avons maintenant acquis la conviction que des télescopes du genre de celui du Mont Wilson, avec son diamètre de $2^m,54$, pourraient nous en montrer quelque chose comme un million (1). Or la densité de ces objets suit une règle inverse de celle des amas ; de façon générale, leur nombre augmente vers les pôles de la Voie lactée.

Tel était l'état de la question il y a quelques années, lorsque tout récemment des faits nouveaux et des méthodes insoupçonnées des anciens astronomes vinrent troubler la quiétude des savants. On avait constaté depuis longtemps que les mouvements propres des étoiles sont compris entre 30 et 40 kilomètres à la seconde, et Lord Kelvin avait montré que ces chiffres n'ont rien qui puisse nous étonner : ils sont tout à fait compatibles avec la quantité de matière gravitationnelle que comporte ce que nous appelons *notre Univers*. Un milliard de soleils comme le nôtre, répandus au hasard dans une sphère de 3762 années-lumière de rayon, suffiraient à produire ce résultat. Or ces nombres sont de l'ordre de grandeur de ceux qu'on admettait couramment ; un million d'étoiles dans un univers de 6000 années-lumière de diamètre, d'après les estimations de Newcomb.

Mais on avait compté sans les surprises. L'application du principe Doppler-Fizeau à la mesure des vitesses radiales nous a décelé des mouvements propres stellaires absolument fantastiques.

Mu Cassiopée marche à la vitesse de 166 kilomètres par seconde; 1830 Groombridge accuse 255 kilomètres; la petite étoile 15290 Lalande, 332 kilomètres, etc.

Et tous ces records sont battus par Arcturus, la

(1) V. Art. de Curtis cité plus haut (1918).

brillante étoile du Bouvier qui vole à raison de 413 kilomètres par seconde ; en 4 jours seulement, elle irait de la Terre au Soleil.

Ces étoiles, véritables projectiles, posent à l'astronome les problèmes les plus troublants.

De deux choses l'une, en effet : ou bien ces corps célestes doivent être regardés comme de véritables vagabonds pénétrant par hasard dans notre système, et dans ce cas on admet implicitement qu'ils nous viennent d'Univers distincts du nôtre ; ou bien, s'ils nous appartiennent, force nous est d'agrandir les dimensions de la Galaxie.

A l'heure actuelle, c'est cette dernière solution qui semblerait la meilleure, car un tiers au moins des vitesses qu'on a pu convertir en kilomètres, sont supérieures à la vitesse maxima théorique de 40 kilomètres fixée par Newcomb comme une limite que la masse totale des étoiles pouvait déterminer par son attraction sur un corps céleste (1).

Une douzaine de milliards de soleils répandus dans une sphère de quelques dizaines de milliers d'années-lumière de rayon suffiraient tout juste pour rendre compte des vitesses observées.

Que le ciel puisse nous offrir l'image d'un vaste cimetière où s'entassent peu à peu les étoiles éteintes, cela ne fait aucun doute pour l'astronome habile à manier le spectroscope ; nous connaissons quantité d'étoiles doubles dont l'une des composantes n'est autre qu'un Soleil noir ; mais l'hypothèse ne résout qu'une partie du problème. Il faudrait en même temps entrevoir la possibilité de reculer les frontières de notre Voie lactée. Or, avec nos anciennes méthodes, nous ne pouvons nous flatter de déterminer la parallaxe

(1) V. sur tous ces sujets : *Où en est l'Astronomie*, par Th. Moreux. Gauthier-Villars, 1920, Paris.

d'une étoile à plus d'un centième de seconde près ; supposons même que nous puissions apprécier correctement cette deuxième décimale et que nous trouvions un astre ayant pour parallaxe 0",01, cette constatation placerait l'étoile à 325 années-lumière. Au delà, c'est l'incertitude la plus complète.

Reste une méthode indirecte que nous avons longtemps employée faute de mieux, mais le procédé repose sur un postulat qu'il faudrait prouver. Le calcul indique en effet que si, parmi les étoiles de 18e grandeur, il en existe de même éclat que notre Soleil, ces étoiles doivent se trouver à 13 000 années-lumière.

Or, les grands télescopes actuels permettent d'atteindre ces étoiles ; des réflecteurs tels que celui du Mont Wilson, obtiennent même la 21e grandeur photographique ; 13 000 années-lumière restent donc une limite inférieure et notre Univers s'étendrait beaucoup plus loin.

Mais ces conclusions ne sauraient être légitimes qu'à deux conditions : elles supposent en effet que la lumière ne subit pas d'absorption dans les espaces interstellaires et enfin qu'il existe aux confins de la Voie lactée, des étoiles en tout point comparables à notre Soleil.

Évidemment tout cela est possible, mais nous n'avons à ce sujet aucune indication précise et il pourrait fort bien se faire qu'aux limites de la Galaxie, il existe seulement des étoiles naines jouant le rôle d'astéroïdes par rapport aux soleils plus gros, à l'instar de ce que nous voyons dans le système solaire.

Sans doute, pour un esprit attentif et habitué à envisager les choses d'un large point de vue, l'hésitation n'était guère permise ; tout semblait nous inviter à reculer les frontières de notre Univers ; toutefois, les preuves positives faisaient défaut et on sentait qu'il fallait trouver, coûte que coûte, des moyens nouveaux de mesurer les distances stellaires.

En fait, ces valeurs de parallaxe étaient depuis longtemps inscrites, pour ainsi parler, sur nos spectrogrammes d'étoiles, mais personne ne les avait remarquées.

L'éclat apparent d'un astre dépend à la fois de sa distance et de son éclat intrinsèque ou réel. Soient donc deux étoiles de même éclat apparent ; il est évident que si nous connaissions leur éclat réel, nous pourrions en inférer les distances *relatives ;* à un éclat réel 9 fois plus fort, par exemple, correspondrait en effet une distance 3 fois plus grande. Or, chaque type spectral possédant ses caractéristiques propres, il suffit de mesurer l'intensité relative de certaines raies pour arriver à déterminer l'éclat réel ou si l'on veut la *magnitude* absolue.

Comme, d'autre part, l'éclat apparent peut toujours être soigneusement mesuré, nous sommes en possession d'un procédé qui pourra donner la *distance rapportée* à une étoile de même genre dont la parallaxe est déjà connue par les anciennes méthodes.

Ce procédé ingénieux, dû à M. Walter S. Adams, a été employé au Mont Wilson, comparativement avec les moyens ordinaires et ne s'est jamais trouvé en défaut. Essayé sur plus de 1000 étoiles, nous dit l'auteur, il a fourni des résultats en tout point comparables pour la précision aux mesures directes ; enfin, dernière remarque capitale, la méthode a (1) « l'avantage d'être applicable aux étoiles de très petite parallaxe », et c'est dans ce cas qu'elle nous rendra les plus importants services.

Il n'est pas jusqu'à l'étude des variables qui ne puisse tirer parti des remarques de W. S. Adams. Les statistiques montrent que toutes les étoiles ressemblent

(1) V. W. S. Adams : *Dét. spectr. des distances stell.* V. REVUE DU CIEL, octobre 1918.

plus ou moins à notre Soleil dont la courbe d'activité, manifestée principalement par les taches et les protubérances, accuse une périodicité de onze années environ; mais le phénomène est plus ou moins marqué en intensité et en durée.

Certaines variables, comme Mira Ceti (*omicron* Baleine) ont des périodes d'une année, qui rappellent tout à fait les variations de notre Soleil, tandis que d'autres, comme les Céphéides, du genre de *Delta* Céphée, accusent d'énormes fluctuations en quelques jours seulement.

Or, et c'est là où l'observation mène à un résultat pratique, on a démontré tout récemment que dans ce dernier cas, il existe une relation constante entre la durée de la période et l'éclat absolu. Dans le type céphéide, par exemple, nous savons que si la période est d'un jour, l'éclat réel est 100 fois plus grand que celui du Soleil ; 400 fois plus fort pour une période de 4 jours ; 1500 fois plus grand pour une période atteignant 10 jours, etc...

Nous voilà donc en possession d'une méthode précieuse pour fixer la distance de toutes les étoiles du type céphéide — et elles sont nombreuses — puisque, d'après la méthode d'Adams, il nous suffit de connaître l'éclat réel et l'éclat apparent pour en inférer la parallaxe.

Or, les résultats ont été tout à fait remarquables et très encourageants : les travaux de Hertzsprung, Pease et Shapley s'accordent pour montrer que certaines étoiles sont beaucoup plus loin qu'on ne l'avait supposé au dernier siècle, mais n'anticipons pas et analysons sommairement les études entreprises dans cette voie.

La contribution de beaucoup la plus importante sur le sujet est due à Horrow Shapley, qui entreprit de fixer la distance des amas dits globulaires à l'aide des

Céphéides qu'on y remarque. Quelques astronomes anciens, notamment Messier, Sir John Herschel, d'Arrest, avaient déjà étudié ces intéressantes formations, mais leurs conclusions pèsent d'un faible poids en regard des travaux modernes où interviennent la plaque photographique et le spectroscope.

Le premier amas étudié au Mont Wilson, en vue de l'application des nouvelles méthodes, fut celui d'Hercule, connu sous le nom de Messier 13. D'après des considérations basées sur les étoiles variables qu'il renfermait, leur courbe de luminosité et l'éclat apparant moyen de certains groupes de couleurs, Shapley calcula la distance de cette étrange agglomération où de longues poses montrèrent une association de plus de 30 000 étoiles. La parallaxe était bien inférieure au dix-millième de seconde et le résultat provisoire montra que la lumière mettait quelque 100 000 années à parcourir la distance qui nous en séparait.

L'émoi parmi le monde savant — c'était en 1915 — fut considérable ; il l'eût été bien davantage si la plus grande partie de l'humanité n'eût pas été employée alors à défendre notre civilisation contre la barbarie allemande.

Les chiffres donnés par Shapley s'accordaient, comme ordre de grandeur, avec ceux du professeur Hertzsprung qui, en 1913, avait fixé la distance d'une des Nuées de Magellan à 30 000 années-lumière environ. L'amas d'Hercule, comme le Petit Nuage, cet appendice mystérieux de la Voie lactée dans l'hémisphère austral, posait de nouveau la question de savoir si tous les objets célestes faisaient oui ou non partie du domaine galactique, devenu trop petit pour les contenir. Dans la négative, il devenait évident que certains d'entre eux, amas et nébuleuses peut-être, formaient des Voies lactées différentes et indépendantes de la nôtre.

C'était la théorie des Univers-Iles qui ressuscitait et les problèmes posés par Herschel remis en question.

Pendant deux années, les mesures continuèrent et semblèrent favorables à l'antique hypothèse. Pease et Shapley s'en expliquèrent d'ailleurs très nettement à différentes reprises jusqu'en 1917 (1).

Mais en 1918, Shapley revenait de nouveau sur le sujet et, se basant sur des milliers de mesures soigneusement effectuées, énonçait des conclusions qui méritent d'être prises en sérieuse considération (2).

De tous les amas observés, l'astronome américain concluait que le plus proche est celui d'*Oméga* Centaure.

Parmi les 6400 étoiles distinctes qu'y montrent les photographies, on a pu examiner 132 variables, dont les périodes, très courtes pour quelques-unes, ont servi à déterminer la distance moyenne de l'amas.

Les mesures donnent 21 000 années-lumière avec une erreur possible de 30 °/.

L'amas d'Hercule fut de nouveau l'objet de mesures minutieuses et, de leur discussion : Shapley put conclure à une distance de 36 000 années-lumière seulement, et non de 100 000, comme on l'avait annoncé un peu hâtivement.

Toutefois, certains amas paraissent beaucoup plus distants, tel celui qui est inscrit sous le numéro 7006 du *New General Catalogue*. Cette formation qu'on peut observer dans la constellation du Dauphin, serait à une distance supérieure de 25 000 fois à celle de Sirius, ce qui nous donne 220 000 années-lumière en chiffres ronds.

Hâtons-nous d'ajouter que cet amas est le plus éloigné de ceux que nous connaissions.

(1) V. Astrophys. Journ. Vol. XL, p. 434, 1914.
(2) V. Mt Wilson Contr. Nos 151 à 157, 1918.

De tels résultats pouvaient paraître en harmonie avec la fameuse théorie des Univers-Iles, mais, remarquons-le bien, ce ne pouvait être qu'à la condition expresse de limiter notre Univers aux dimensions acceptées généralement jusqu'en 1914. Or, depuis ses récentes recherches, Shapley lui-même s'est vu contraint de modifier ses opinions antérieures. La plupart des Céphéides contenues dans la Voie lactée et qu'on a pu examiner, manifestent un éloignement bien supérieur aux faibles limites assignées autrefois par Newcomb ou Eddington à la grande ceinture galactique, si bien que Shapley n'a pas hésité à écrire ces lignes extrêmement suggestives : « A l'heure actuelle, n'importe quel *Univers* extérieur doit maintenant être comparé à un système galactique (le nôtre) d'un diamètre dépassant probablement 300 000 années-lumière » (1).

Comme, d'autre part, notre Soleil occupe une position excentrique dans la Voie lactée et qu'il est éloigné à environ 65 000 années-lumière de son centre, on voit immédiatement que l'ensemble peut fort bien contenir tous les amas globulaires, dont la majeure partie est distribuée d'un même côté de la Galaxie par rapport à nous.

Les mesures de parallaxe ont permis une autre détermination : la grandeur absolue des amas; ceux-ci ont en moyenne des diamètres compris entre quatre ou cinq cents années lumière seulement; on ne saurait donc les comparer comme étendue à notre Univers, représenté par la Voie lactée.

Reste la question des Nuées de Magellan, ces objets énigmatiques apparaissant comme de larges lambeaux détachés de la Galaxie.

Elles sont connues depuis longtemps sous le nom de Petit Nuage et de Grand Nuage. Il y a là, au dire de

(1) Mt Wilson Contr. N° 157, p. 2 (1918).

Humboldt, quelque chose d'unique dans le monde des phénomènes célestes, et leur lumière est telle dans la Dorade et l'Hydre mâle qu'ils frappent l'observateur le moins attentif.

Le Grand Nuage s'étend sur un espace de douze degrés carrés, 200 fois environ la surface apparente de la Pleine Lune ; le Petit Nuage occupe une étendue quatre fois moindre. Sir John Herschel, qui a étudié ces étranges formations, n'avait pas recensé moins de 800 étoiles, 72 amas stellaires et 316 nébuleuses dans ces deux objets.

La photographie nous réservait d'autres surprises : dans une seule des nébuleuses du Grand Nuage, qui en renferme des centaines, nos clichés nous montrent une agglomération fantastique de 300 000 soleils Le Petit Nuage est presque aussi riche et 280 000 étoiles y ont déjà été recensées.

L'étude des variables, renfermées dans ces vastes plaines stellaires, nous a permis de nous faire une idée provisoire des distances qui seraient, pour les deux Nuées de Magellan, de l'ordre de 62 000 années-lumière. Comme d'autre part le Grand Nuage offre un diamètre apparent de sept degrés, son diamètre réel, quelle que soit sa distance, doit atteindre le huitième de cette dernière, ce qui nous montre que la lumière doit mettre environ 8000 ans pour le traverser, 4000 années pour parcourir le diamètre du Petit Nuage qui est presque deux fois plus petit.

Ces chiffres, qui ne sont pas définitifs, montrent néanmoins que ces îles du ciel ont des dimensions de l'ordre de grandeur de celles qu'on se plaisait à assigner jadis au domaine de notre Voie lactée.

Ainsi, en admettant la légitimité des méthodes nouvelles qui, au dire de leurs inventeurs, fournissent des distances exactes à 30 % près en plus ou en moins, la conclusion des travaux modernes, en ce qui concerne

les étoiles et les amas stellaires, est très nette : il ne saurait être question à l'heure actuelle, dans cet ordre d'idées, de ressusciter la théorie des Univers-Iles, telle du moins que l'avaient conçue ses promoteurs. Si l'on entend par *îles*, des Univers distincts du nôtre et comparables en étendue à la Voie lactée, les amas globulaires ne peuvent remplir ce rôle ; par contre, nous pouvons fort bien les considérer comme des îles annexées à notre continent, républiques de soleils jouissant de leur autonomie propre, mais sous le contrôle de la masse imposante des étoiles, dont notre Soleil fait partie.

Quant à la façon dont s'exerce ce contrôle, l'étude des nébuleuses nous amènera à la préciser, en même temps qu'elle nous posera l'un des problèmes les plus difficiles que l'astronome puisse aborder.

Nous avons vu que les nébuleuses spirales, de beaucoup les plus répandues dans le ciel, sont rares près de la Voie lactée qu'elles semblent fuir pour se grouper vers ses pôles et c'est, avons-nous dit, un des caractères qui les distinguent des amas ; en voici un autre : l'ensemble des mesures opérées sur les amas stellaires, montrent que ces objets s'approchent de la Galaxie. Les vitesses sont énormes, beaucoup plus grandes que la moyenne de celles relevées pour les étoiles. Dans le tableau que donne Shapley (1), nous voyons des vitesses *radiales* de rapprochement de 225, 300 et même 350 kilomètres à la seconde. En est-il de même des nébuleuses ?

La question est beaucoup plus délicate qu'elle ne paraît, parce qu'elle est liée à des quantités de suppositions.

D'une part, les spectrogrammes sont faibles et par-

(1) Astr. Journ. Vol. XLI, p. 12, 1918.

fois les raies diffuses ; donc les positions difficiles à préciser. D'autre part, même les parties brillantes des nébuleuses peuvent ne pas être des étoiles, mais des gaz sous pression. Dans ce dernier cas, les vitesses radiales peuvent être faussées, ainsi qu'on l'a démontré pour les *Novæ* (1).

Quoi qu'il en soit, alors que Keller trouvait en 1890 des vitesses radiales ne dépassant pas 69 kilomètres par seconde, les nouvelles mesures accusent des valeurs généralement beaucoup plus grandes. Slipher a déduit de l'examen des spectres de 25 nébuleuses, une vitesse moyenne de 570 kilomètres à la seconde, beaucoup plus forte que celles des étoiles (2). Ces résultats ont été corroborés par d'autres observateurs et les écarts entre les différents pointés sont faibles relativement.

La nébuleuse d'Andromède se rapprocherait de nous à la vitesse de 300 kilomètres environ par seconde. Le cas est d'ailleurs assez rare ; la plupart des autres manifestent la tendance contraire et l'on a relevé des vitesses d'éloignement de 1000 à 1200 kilomètres à la seconde.

Ainsi les nébuleuses spirales fuient la Voie lactée pour gagner les pôles de cette immense formation.

Ce serait, disent les partisans des Univers-Iles, une raison péremptoire de penser que cette classe de nébuleuses représente vraiment d'autres univers comparables au nôtre. En choisissant les meilleures déterminations, on peut même rechercher le mouvement de notre Univers stellaire par rapport aux autres, de même que les astronomes ont depuis longtemps fixé le point du ciel où nous entraine notre Soleil, d'après le mouvement propre des étoiles.

En traitant le problème d'une façon analogue, on est

(1) V. Th. Moreux : *Les énigmes de la Science*, p. 66. Paris 1920.

(2) Slipher : *The Nebulæ*, dans Proc. of Philos. Soc. Philadelphia, v. LVI, n° 5.

arrivé à cette conclusion que la Voie lactée se déplace en bloc vers un point de la voûte céleste situé dans la direction du Capricorne et à la vitesse de 650 kilomètres par seconde (1).

Toutefois, l'existence de ce nouvel *apex* ne va pas sans quelques incertitudes. Il faudrait être sûr de nos interprétations de spectrogrammes des nébuleuses, et, récemment, de Sitter faisait observer d'une façon judicieuse que, si la théorie de la relativité d'Einstein est correcte, le déplacement des lignes spectrales pourrait bien n'être qu'une apparence : il serait occasionné surtout par la grande distance des nébuleuses (2).

L'argument, on le voit, n'est pas en faveur des partisans des Univers-Iles et cependant ces derniers l'ont inscrit à leur avoir d'une très ingénieuse façon. D'après eux, cet aveu de distances énormes accusées par le spectroscope, prouve précisément que les nébuleuses, la classe des spirales, tout au moins, sont en dehors des limites de notre Galaxie ; la vraie solution du problème se ramène donc à fixer la parallaxe des spirales.

Ici, nous allons retrouver des incertitudes encore plus grandes. D'après Kapteyn, la nébuleuse d'Orion, qui est probablement les restes d'une grande formation spiraloïde dont nous retrouvons les vestiges, ne serait qu'à 600 années-lumière (3). Van Maanen, d'après les mesures directes opérées avec le soixante-pouces du Mont Wilson, fixe la distance de la belle nébuleuse d'Andromède, ainsi que celle des Chiens de chasse, à 650 années-lumière (4).

Ce nombre admis donnerait pour la nébuleuse d'Andromède un diamètre de 40 années-lumière seulement.

(1) V. Revue du Ciel : Art. Th. Moreux, p. 643, 1919.
(2) Month. Not., t. LXXVIII, p. 26.
(3) Mt Wilson contr., n° 147.
(4) Mt Wilson contr., n° 156.

Même en admettant les chiffres calculés par Véry, de 80 000 années-lumière, nous restons au-dessous du nombre qu'adopte Shapley pour l'étendue de notre système d'étoiles, celui dans lequel nous sommes plongés, et la nébuleuse d'Andromède est encore un petit objet par rapport à tout l'ensemble.

On voit par ces quelques divergences que le débat est loin d'être clos ; il s'est même trouvé des extrémistes — on en rencontre partout — comme M. Lindemann, qui ont parlé, pour la nébuleuse d'Andromède, d'un diamètre de 50 000 années-lumière et d'une parallaxe tellement faible que la distance de cette nébuleuse, l'une des plus proches que nous connaissions, serait portée à un million d'années-lumière (1).

« Ainsi, disait M. Macpherson, le problème des nébuleuses spirales est loin d'être résolu ; quant à la condition exacte de ces objets, il nous faut suspendre notre jugement jusqu'à ce que nous en ayons une connaissance plus détaillée » (2).

En tout cas, il y a un fait dont nous devons tenir compte, c'est la distribution des nébuleuses aux pôles de la Voie lactée. Si ces objets n'ont aucun rapport avec cette dernière, une telle répartition est inexplicable. On a bien mis en avant l'existence d'un milieu interstellaire enveloppant la Galaxie comme d'un nuage opaque et qui cacherait à nos yeux les faibles objets tels que les nébuleuses se projetant sur ses bords, mais la théorie est insoutenable et ne s'accorde pas autant avec d'autres constatations (3).

Jusqu'à plus ample information, nous devons donc regarder comme probable l'opinion qui voit dans les nébuleuses des objets non distincts de notre Univers.

(1) V. Art. de Macpherson dans THE OBSERVATORY, Sept. 1919.
(2) Macpherson, art. j. cit.
(3) Mt WILSON CONTR., n° 152.

Dès lors, comment expliquer leur présence ? Par une hypothèse hardie qui satisfait notre esprit avide d'enchaîner les faits, au risque parfois, il faut bien l'avouer, d'être à côté de la vérité. Ces vues que j'expose pour la première fois, je ne les donne qu'avec la défiance qui doit accompagner toute théorie, me réservant de les critiquer moi-même le jour où nous aurons amassé de nouveaux faits.

On peut considérer l'Univers comme enfermé dans un volume sphérique où toute matière était primitivement répandue. Par un processus dont nous n'avons aucune idée à l'heure présente, les matériaux se sont rassemblés dans la zone équatoriale de cette énorme sphère, et de leur évolution sont nés les étoiles, les systèmes stellaires, notre Soleil, en un mot tous les objets qui forment à proprement parler notre Voie lactée.

Mais celle-ci, à n'en pas douter, renferme encore des portions non condensées, des nuages de gaz ou de météorites qui donnent lieu — le fait est maintenant hors de doute — à ces apparences de vide en pleine Voie lactée, ou même autour d'étoiles et de nébuleuses galactiques.

Les particules assez grosses seraient soumises à la loi de la gravitation et se précipiteraient vers les centres de condensation, comme les étoiles ; mais les plus fines obéiraient à la loi de la pression de la lumière et seraient vite dispersées aux pôles de la sphère, où, de leur rassemblement, naîtraient les nébuleuses.

Après un long séjour dans ces régions éloignées, à mesure que la condensation opérerait son œuvre, les nébuleuses, devenues amas stellaires, seraient attirées de nouveau par le disque équatorial et reprendraient le chemin du retour. De sphériques qu'ils sont aux latitudes galactiques élevées, les amas globulaires, en arrivant dans le voisinage des strates d'étoiles, subi-

raient l'action dissolvante de l'ensemble et il se passerait là un phénomène analogue à celui que nous voyons dans le monde cométaire où l'attraction éparpille les matériaux des comètes sur de larges orbites pour les transformer peu à peu en essaims d'étoiles filantes.

En fait, dans les hautes latitudes galactiques, les rares amas que nous y apercevons sont plutôt sphériques et dans un état de condensation avancée.

Un grand nombre d'entre eux semblent néanmoins avoir conservé des traces de l'origine que nous leur assignons : examinez les photographies des amas stellaires les plus connus, les étoiles les plus extérieures ont bien, en fait, gardé leur disposition en branches spiraloïdes.

Mais dès que ces amas approchent de la Voie lactée, ils se transforment en amas ouverts et leurs étoiles tendent à la dispersion : tels les cas bien connus des Pléiades et des Hyades, ces dernières n'étant qu'à 130 années-lumière.

Tous les objets de ce genre sont très rapprochés, alors que les amas globulaires se tiennent, nous l'avons dit, au-dessus et au-dessous de la Voie lactée avec un maximum de condensation dans les régions situées à 13 000 années-lumière environ de son plan médian, ce qui correspond aux latitudes réelles de 7 ou 8 degrés nord et sud.

Comme tous ces objets ont des vitesses très nettes de rapprochement, il y a lieu de penser que dans un avenir lointain, après s'être déformés, ils s'incorporeront peu à peu à la grande ceinture galactique qui les happera et les transformera en courants d'étoiles analogues à celui dont fait partie notre Soleil.

Le plan équatorial de la sphère originelle tendrait donc à devenir la partie de beaucoup la plus dense de l'espace où les matériaux étaient primitivement répandus; et, de même que nous voyons les vapeurs échap-

pées des océans et emportées par les courants de l'atmosphère, revenir à leur source après un long voyage au cours duquel elles se sont condensées, de même les particules lancées par la masse des soleils en perpétuelle incandescence, se regrouperaient pour donner naissance aux nébuleuses des hautes latitudes, qui, à leur tour, se transformeraient en amas attirés de nouveau par la masse totale de la Galaxie.

Conjectures vaines et spéculations bien aventurées, répondra plus d'un lecteur. — Peut-être, mais le désir de savoir n'est-il pas notre meilleure excuse ?

« Il est impossible, disait Henri Poincaré au début de ses leçons sur les cosmogonies, de contempler le spectacle de l'Univers étoilé sans se demander comment il s'est formé ; nous devrions peut-être attendre pour chercher une solution que nous en ayons patiemment rassemblé les éléments et que nous ayons acquis par là quelque espoir sérieux de la trouver ; mais si nous étions si raisonnables, si nous étions curieux sans impatience, il est probable que nous n'aurions jamais créé la Science et que nous nous serions contentés de vivre notre petite vie. Notre esprit a donc réclamé impérieusement cette solution bien avant qu'elle fût mûre, et alors qu'il ne possédait que de vagues lueurs, lui permettant de la deviner plutôt que de l'atteindre » (1).

Depuis l'époque où ces lignes ont été écrites (1911), nos acquisitions sont évidemment en progrès, mais c'est le propre de la science de nous ouvrir des horizons illimités.

Duclaux disait dans une boutade : « C'est parce qu'elle n'est sûre de rien que la science avance toujours ». Loin de souscrire à cette pensée, je crois au contraire que plus nous progressons, plus nous décou-

(1) H. Poincaré : *Leçons sur les Hypothèses cosmogoniques.* Préface Paris, 1912).

vrons l'étendue des champs ouverts à nos investigations et plus s'accumulent aussi les problèmes et les mystères dont sont parsemées les avenues de la nature dans toutes les directions de la connaissance.

Mais quoi que nous fassions, aussi loin que nous puissions pousser l'examen de la structure des êtres matériels, qu'il s'agisse de l'atome ou d'un système solaire ou même de l'Univers, une conclusion s'impose avec la même force : partout nous sentons apparaître derrière le voile transparent des phénomènes, le rôle de la Pensée créatrice, toujours agissante, qui fait tout avec poids et mesure, qui dispense inlassablement l'ordre et l'harmonie et qui préside à la naissance des nébuleuses comme à l'évolution des mondes.

Abbé Th. Moreux,
Directeur de l'Observatoire de Bourges.

Histoire de la Sismologie

I. LA SISMOLOGIE DES PRIMITIFS

Si les fouilles des archéologues ne nous avaient pas fait connaître l'industrie primitive de l'âge de la pierre, taillée ou polie, nous aurions pu, par l'étude des industries des peuples actuels, sauvages ou à demi civilisés, remonter le cours des temps au moyen d'une induction parfaitement légitime et reconstituer au moins partiellement le genre de vie de l'homme le plus primitif. Par un procédé tout à fait analogue, il nous est loisible de rechercher quelles ont été, au sujet des tremblements de terre, les idées des primitifs aux temps où leur intelligence se fut assez affinée pour éprouver le besoin d'expliquer les phénomènes naturels qui les entouraient, les faisaient souffrir ou les terrorisaient.

Il existe un folklore des tremblements de terre ; et, si l'on en classe les croyances, qu'on peut qualifier de préscientifiques, par degrés de complication décroissante, on remontera, sans grand péril d'erreur, à la sismologie primitive, préhistorique peut-on dire.

Cette phase des théories sismologiques est très importante pour l'historien, mais elle ne saurait être étudiée ici en détail, car elle fournirait les éléments de tout un volume de sismologie folklorique, mythologique et religieuse. Il nous suffira de l'esquisser à très grands traits. D'ailleurs, dans plusieurs des articles composant le présent travail nous avons dû remonter à ce stade préscientifique.

Dans toutes les contrées, l'homme primitif a attri-

bué aux animaux une certaine supériorité : il ne les combattait pas toujours avec succès et souvent il avait à déjouer les ruses des bêtes féroces auxquelles il donnait la chasse pour s'en nourrir. Beaucoup échappaient à sa poursuite en se réfugiant dans leurs terriers ; son intelligence fruste en vint aisément à conclure à l'existence de tout un monde souterrain. Comme d'autre part son grossier bon sens lui faisait penser que le tremblement de terre, ébranlant uniquement le sol, ne pouvait être qu'un phénomène produit sous terre, il s'imagina que des animaux souterrains, d'espèces réelles, ou imaginaires, secouaient la terre. Ce genre de croyances est extrêmement répandu dans le folklore du monde entier et nous n'en retiendrons qu'un seul cas, du reste le plus curieux, celui du Mammouth chez les Chinois de Kiachta (1). La découverte des cadavres gelés et parfaitement conservés de ces animaux géants semblait fournir à cette croyance une incontestable confirmation de fait.

A un stade postérieur, mais beaucoup plus avancé, l'homme a compris que la Terre était un corps isolé et indépendant du ciel, qu'il voyait tourner autour d'elle. Il devait donc lui trouver un support ; et ainsi s'est forgée la fable que la Terre reposait sur des êtres vivants dont les mouvements suffisaient à l'ébranler. Ce furent des animaux divers et parmi eux le plus fréquemment cité est le buffle, qui supporte la planète sur une de ses cornes. La Terre tremble, lorsque, fatigué, il la fait passer d'une corne sur l'autre pour se reposer. Cette idée a dû naître après la domestication du bœuf et du cheval, quand l'homme, s'en servant comme de bêtes de somme, a vu osciller et se mouvoir les fardeaux dont il les chargeait

(1) A. E. Nordenskjöld. *Voyage de la Véga autour de l'Asie et de l'Europe*, p. 362, Paris, 1883.

Parmi les animaux supports de la Terre se rencontrent encore fréquemment des poissons, ce qui nous amène à une autre conception des mouvements de la Terre : la planète serait ébranlée parce qu'elle vogue sur le fleuve Océan. Cette théorie sismique est venue de l'Inde et fut adoptée par certains philosophes grecs, par exemple, par Thalès de Milet. Cette explication dénote déjà une certaine pénétration d'esprit. D'ailleurs l'assimilation du mouvement sismique à celui qu'impriment à un navire les flots de la mer, a une portée pratique inattendue : on peut, en effet, étudier les effets des tremblements de terre sur les édifices, en se reportant aux chocs des vagues sur les flancs d'un vaisseau (1).

Plus tard, l'homme se sera aperçu qu'il y avait peu de bon sens à faire supporter l'immense poids de la Terre par des animaux. Pour faire disparaître cette flagrante disproportion entre l'effet et la cause, il a recouru à des êtres surnaturels imaginaires, qu'il lui était loisible de doter de toute la puissance nécessaire. Ce furent des géants, des héros, des génies plus ou moins divinisés, des dieux enfin. Puis l'idée même de supporter la Terre disparut, elle aussi. C'est à une pléiade d'êtres du même genre que fut alors attribué le rôle de déchaîner les tremblements de terre, à Neptune, par exemple, dans la mythologie classique, ce vaste domaine où se sont en quelque sorte épurées les fictions antérieures plus grossières.

A ce qui a été dit précédemment ne se borne pas le rôle des animaux dans la sismologie primitive. Il faut y ajouter le pouvoir qu'on leur attribua de pressentir les tremblements de terre, vieille et persistante erreur qu'on a voulu expliquer de bien des manières, mais

(1) Cortes y Agulló. *Los terremotos ; sus efectos en las edificaciones y medios prácticos para remediarlos en lo posible.* Manila, 1881.

qui, naturellement, n'a pu résister au contrôle des observations modernes.

Parmi les êtres fauteurs des tremblements de terre, les mânes auxquels, plus tard, succédèrent les damnés dans les croyances populaires des peuples chrétiens, méritent une mention spéciale, tant est grand, dans toutes les parties du monde et à toutes les époques, le nombre des légendes où nous les voyons en relations avec des phénomènes sismiques et volcaniques. L'origine en est sans doute la terreur qu'inspire la mort et le rôle malfaisant que l'homme a partout attribué aux défunts dans leur vie souterraine, forme grossière sous laquelle ils concevaient l'immortalité de l'âme. C'est donc logiquement qu'on leur imputa le déchaînement des tremblements de terre.

A toutes ces fables, qui prennent des formes analogues dans l'interprétation d'autres phénomènes naturels, le célèbre ethnologue Edward Tylor (1) a attribué l'heureuse expression de « Contes pour expliquer ». Il ne faut pas les confondre avec l'innombrable cycle de légendes et de mythes où figurent des tremblements de terre à titre de simples épisodes. Notons ici que, dans ce dernier cas, on peut, dans certaines circonstances, reconnaître, à l'origine de semblables récits, un tremblement de terre effectivement arrivé et, parfois même, un sisme de date connue qui situe la légende dans la chronologie.

Nous ne poursuivrons pas plus loin cette brève esquisse d'une partie de la sismologie ancienne, dont il nous suffisait de faire connaître la grande importance au point de vue de l'ethnographie, de la philosophie et surtout de l'évolution des croyances de l'homme au sujet des tremblements de terre. Une étude plus développée risquerait de paraître puérile à qui ne s'inté-

(1) *La civilisation primitive*. Trad. de l'anglais sur la 2e édit. Paris, 1876.

resse point aux traditions populaires. Nous retiendrons surtout que cette sismologie des primitifs a traversé toute l'histoire et qu'aujourd'hui encore on peut en reconnaître les traces dans certaines croyances populaires.

II. LES PHILOSOPHES GRECS AVANT ET APRÈS ARISTOTE

Pendant une longue période de six siècles avant notre ère, les philosophes grecs, si épris de la nature, ont eu le temps d'imaginer de nombreuses théories sismiques. Sauf celle d'Aristote, nous ne les connaissons qu'indirectement. Celle-ci mérite par son exceptionnelle importance d'être traitée à part ; quant aux autres, nous adopterons, pour en donner une idée, l'ordre chronologique.

On ignore si Phérécidès (première moitié du VIe siècle) professait effectivement une théorie des tremblements de terre, mais suivant des traditions rapportées par de nombreux écrivains postérieurs, Cicéron (1) et Diogène Laërce (2) par exemple, on sait qu'il prédisait les commotions terrestres par l'examen de l'état des eaux des puits. Il tirait ainsi des pronostics, de phénomènes qui n'étaient qu'un effet consécutif du mouvement sismique. Cette erreur s'est maintenue de longs siècles, pour disparaître seulement de nos jours, après l'insuccès d'une tentative entreprise en 1874 par Stefano de Rossi pour organiser en Italie des observations systématiques.

On ne saurait passer sous silence l'étrange opinion attribuée à Pythagore, disciple de Phérécidès, par Claude Elien (3), qui vivait au commencement du

(1) *De la divination*. Liv. III. Ch. XIII. L.
(2) *Vie des philosophes. Vie de Phérécidès.*
(3) *Histoires variées*. Liv. IV. Chap. XV.

IIIe siècle de notre ère : Les tremblements de terre s'expliqueraient par les assemblées des mânes réunis sous terre. On a peine à croire à une telle aberration de la part du célèbre philosophe, et l'on peut supposer qu'il s'agit là d'une légende née pendant l'intervalle de plus de six siècles qui sépare Pythagore de cet écrivain, contemporain d'Alexandre Sévère. En tout cas, si l'attribution à Pythagore est fondée, il est à penser que le philosophe aura déduit cette interprétation des croyances des Égyptiens, qui donnaient l'importance que l'on sait aux faits et gestes du *Double*. A la vérité, on ignore si les Égyptiens attribuaient aux mânes les tremblements de terre. Il nous semble même probable que non, car leur pays était à peu près indemne de ces phénomènes. En tout cas, ils s'en préoccupaient si peu qu'ils ne nous en ont laissé aucun document.

Aristote (1) et Sénèque (2) ont exposé, mais celui-ci plus clairement que celui-là, les théories sismiques des philosophes antérieurs au Stagirite. Nous n'en ferons qu'un résumé succinct, leur intérêt historique étant restreint du fait qu'elles n'ont guère eu d'influence sur l'évolution des théories ultérieures. D'ailleurs nous ne les connaissons que de seconde main.

C'est d'abord Thalès de Milet (639 à 549). Il s'expliquait les tremblements de terre par la mobilité de la planète qu'il supposait voguer sur la Grande Mer, ou Océan, hypothèse cosmogonique vraisemblablement venue de l'Inde védique ou brahmanique. Elle se sera transmise, par la Perse, au bassin occidental de la Méditerranée, tout en se conservant dans les écrits bouddhistes. Thalès étayait sa théorie, nous dit Sénèque, sur ce fait d'observation que les grands tremblements

(1) *Météorologie*. Liv. II. Chap. VII.
(2) *Questions naturelles*. Liv. VI.

de terre s'accompagnent souvent d'éjections d'eaux venues du sous-sol par les *craterlets* suivant l'expression employée par notre terminologie moderne. Le philosophe romain objecte avec raison que ce phénomène accessoire n'a pas une ampleur en proportion avec la cause qu'il met en jeu ; qu'il n'accompagne d'ailleurs pas tous les tremblements de terre ; et qu'enfin les commotions sismiques devraient se faire sentir par toute la Terre, puisqu'elles agiteraient en bloc toute la planète.

Anaximène de Milet vivait au VIe siècle, donc peu après Thalès. Il aurait prédit avec succès un tremblement de terre aux Lacédémoniens, mais on ignore comment. Avec une réelle compréhension du sujet, il trouva, dans la Terre elle-même, la cause de ses commotions, idée logique s'il en fut, mais qui mit des siècles à faire son chemin, puisque, jusqu'au seuil de nos temps modernes, nous verrons encore prédominer dans les théories l'influence de causes externes, cosmiques et météorologiques. Dans des vides souterrains, tombent, selon Anaximène, les débris de la planète, débris dissous par l'eau, rongés par le feu, emportés par un souffle violent, ou délabrés par de vagues causes de destruction. Les voûtes de ces cavernes s'écroulent et font trembler la Terre. Anaximène est donc le précurseur d'une théorie moderne qui, après avoir joui d'une vogue remarquable, n'a plus guère de partisans, quoiqu'elle soit soutenue encore par un éminent sismologue, Agamennone. Nous en reparlerons.

Sur la théorie sismique d'Anaxagore de Clazomène (milieu du VIe siècle), nous possédons plusieurs renseignements. D'après Aristote, il invoquait l'action de l'éther, entité physique des anciens, dont l'essence nous est peu compréhensible : c'est une théorie obscure, que le philosophe de Stagire ne rend d'ailleurs pas plus claire

en la réfutant. Mais selon Plutarque (1), Anaxagore attribuait les tremblements de terre « à ce que l'air, s'étant introduit par dessous (l'écorce terrestre), vient se heurter à la surface intérieure de la terre, surface dense qui ne saurait lui livrer passage ; alors l'air s'agite et met en mouvement la terre où il est contenu ». Cette conception ne diffère pas essentiellement, comme nous le verrons, de la théorie aristotélicienne. Sénèque, au contraire, range Anaxagore parmi les philosophes qui, tout en se séparant sur le mode d'action, sont d'accord pour attribuer les tremblements de terre au feu. Nous aurons à revenir là-dessus à propos des théories électriques.

Démocrite d'Abdère, mort au cours de la 94e olympiade (404 à 401), modifia un peu l'opinion d'Anaximène en invoquant le choc des eaux souterraines contre les parois de leurs conduits, et Sénèque acceptera aussi cette manière de voir.

Puis vint Aristote dont la théorie si célèbre a eu trop de longévité pour ne pas mériter d'être examinée à part.

Ces quelques renseignements sont amplement suffisants pour des théories peu connues, vite tombées dans l'oubli, sauf celle d'Anaximène. Elles n'intéressent plus guère que les érudits.

Après Aristote, comme nous l'apprend Diogène Laërce dans ses Vies des philosophes, Zénon de Citium (362 à 264) et Épicure (343 à 271) ont transmis la théorie du Maître à leurs disciples des écoles stoïcienne et épicurienne.

III. LA THÉORIE D'ARISTOTE ET SES ORIGINES

La théorie aristotélicienne des tremblements de terre a régné sans conteste jusques et y compris une partie

(1) *Opinions des Philosophes*. Liv. III. Chap IX. *Les tremblements de terre*.

du XVIIIe siècle, époque à laquelle on la vit disparaître sans avoir été pour ainsi dire attaquée directement ni condamnée explicitement, tant il paraissait téméraire de toucher à la parole du Maître. Elle s'éteignit d'elle-même tout naturellement, dès que s'établirent en maîtresses les méthodes modernes d'investigation scientifique basées uniquement sur l'observation des faits et pour lesquelles les hypothèses ne sont que des instruments de recherche. Cette extraordinaire survivance de vingt et un siècles est un fait à peu près unique dans l'histoire des sciences. L'on ne saurait trop s'en étonner aujourd'hui, tant cette théorie prêtait le flanc à des objections de simple bon sens, ou dictées par les observations les plus rudimentaires qu'il n'y a pas lieu d'étayer sur des faits d'observation qu'auraient ignorés les savants de l'antiquité.

Aristote (384 à 322) a développé sa théorie des tremblements de terre dans le chapitre VIII du livre II de sa Météorologie. Il en faisait donc un phénomène venu d'en haut, de l'atmosphère, en un mot, d'une origine extérieure à l'écorce terrestre. Cette idée *a priori*, très contraire au bon sens qui semblerait devoir faire chercher les causes des mouvements terrestres dans le milieu même où ils se produisent, la Terre, a eu une répercussion considérable sur toute l'histoire de la sismologie. Ainsi, quand on s'est mis, au XVIIIe siècle, à recueillir systématiquement les observations de tremblements de terre, ce fut surtout dans les recueils météorologiques qu'on se mit à les insérer, à titre, il est vrai, de phénomènes accessoires. Mais, conséquence plus grave encore de la théorie d'Aristote, on s'est évertué depuis longtemps à mettre les séismes en relation de cause à effet avec les phénomènes météorologiques les plus divers et ce fut là un *impedimentum* qui a longtemps retardé la marche de la science.

Le vent et le tonnerre sont les deux seuls phéno-

mènes atmosphériques donnant l'impression, quand ils atteignent leurs paroxysmes, que le sol est matériellement ébranlé. De là, pour le noter en passant, cette confusion si fréquente dans les documents entre les tempêtes et les séismes. Si une coïncidence des deux phénomènes n'est point à rejeter *a priori*, elle est du moins assez rare pour qu'un sismologue prudent, à la lecture d'une relation de ce genre, doive mettre en doute le mouvement du sol et ne l'inscrire dans un catalogue que sur des preuves bien établies. Il doit s'assurer, par exemple, que le séisme a été ressenti hors de l'aire affectée par la tempête.

Réservant pour plus tard ce qui concerne le tonnerre, arrêtons-nous aux vents fauteurs des tremblements de terre. Aristote ne pouvait éluder ce fait que les mouvements sismiques ont bien quelque rapport avec l'écorce terrestre, puisqu'ils la fendent sur de grandes étendues et perturbent même son relief de façon notable. Il lui fallut donc logiquement faire pénétrer les vents dans les espaces souterrains, idée assez naturelle chez un philosophe grec, dont le pays, de topographie karstique, est percé de nombreux catavrothes, et présente de fréquentes disparitions de rivières avec leurs résurgences. Mais on ne peut lui pardonner de citer de prétendus faits d'observation à l'appui de la circulation souterraine des vents. Il donne en exemple une éruption de Hiéra, une des îles Éoliennes : « La terre s'y souleva, en effet, dans un certain lieu, et s'éleva avec bruit, comme la masse d'une colline ; et cette masse étant venue à se briser, il en sortit beaucoup de vent ; elle lança des étincelles et ensevelit sous cette cendre toute la ville des Lipariens qui n'est pas éloignée, se faisant sentir dans quelques-unes des villes d'Italie ». Voir dans l'édification d'un cône volcanique, dans la fumée et dans les matières incandescentes et les cendres qui en sont rejetées, le vent expulsé des abîmes

souterrains après avoir ébranlé la terre, est une étrange confusion. Elle n'a guère eu d'écho chez les naturalistes postérieurs, mais elle a pu contribuer à l'identification des phénomènes sismiques et volcaniques, théorie plus moderne que nous rencontrerons.

Il faut cependant signaler qu'à la suite de cette démonstration si faible, Aristote fait une remarque de génie, quand il dit : « Le feu (volcanique ?) qui se produit dans la terre ne peut avoir que cette cause, à savoir que l'air se soit enflammé par le choc ». Il fait allusion aux chocs du vent frappant les irrégularités et les obstacles rencontrés dans sa course souterraine, et, ici, l'on peut dire qu'il a eu l'intuition de la transformation du travail en chaleur, en un mot du premier principe de la thermodynamique. Mais cette intuition ne pouvait avoir de lendemain.

Entraîné sans doute par le cas de l'éruption de Hiéra et par la chute de bombes volcaniques qui en fut la conséquence, quoiqu'à vrai dire il ne parle que de cendres, Aristote établit une généralisation inattendue : « Partout, dit-il, où a lieu un tremblement de ce genre (ceux qui se produisent comme une pulsation de bas en haut), on trouve à la surface de la terre une grande quantité de pierres, dispersées comme elles le seraient par le vent. En effet, un tremblement de ce genre ayant eu lieu, toutes les contrées environnantes de Sipyle, et ce qu'on appelle la plaine Phlégréenne, et la Ligystique (1) furent bouleversées de cette façon ». Moins bien informé que Pline et Pausanias, Aristote n'a pas su que les pierres accumulées dans la vallée du Sipyle résultèrent d'éboulements d'origine sismique ayant enseveli successivement plusieurs villes, telle la ville de Tantalis. Salomon Reinach (2) a montré avec

(1) Probablement la Crau d'Arles et la Camargue, pensent des commentateurs.

(2) *Cultes, Mythes et Religions*. II. 77. Paris, 1906.

une remarquable sagacité que cet événement très ancien avait donné lieu à la fable des supplices de Tantale. Et si le Sipyle, comme les hauteurs qui avoisinaient le lac Averne avant l'apparition du Monte Nuovo de Pouzzoles en 1538, pouvaient représenter pour Aristote la « boursouflure » d'Hiéra, qu'est-ce qui pouvait bien la rappeler dans la plaine caillouteuse de la Crau ?

Aristote n'éprouve aucune hésitation à énoncer au sujet des tremblements de terre des assertions qu'il semble avoir reçues toutes faites de ses prédécesseurs, et qu'il ne s'est nullement préoccupé de vérifier. « C'est pendant la nuit, ajoute-t-il, que les tremblements de terre se produisent le plus souvent, et qu'ils sont le plus forts... Les tremblements de terre sont le plus violents dans les lieux où le mouvement de la mer est le plus rapide (les courants marins), et où la terre est spongieuse et pleine de cavernes souterraines... Ils se produisent surtout au printemps et à l'automne, dans les grandes pluies et la grande sécheresse... Un calme profond et un froid rigoureux précèdent les tremblements de terre du matin... Le tremblement de terre a parfois lieu pendant les éclipses de lune... Dans les îles de la pleine mer, les tremblements de terre se produisent moins souvent que dans les îles voisines du continent. » Toutes ces assertions, dont la plupart ont été répétées à satiété presque jusqu'à nos jours, Aristote les justifie par le raisonnement d'après les propriétés qu'il attribue arbitrairement au vent, à l'air, au froid, au chaud et à l'humide. Il serait oiseux de le suivre sur ce terrain qui n'intéresse que les érudits parmi les sismologues.

Dans la sismologie d'Aristote, tout n'est cependant pas à rejeter ; çà et là, se rencontrent des détails à conserver. Il a eu, par exemple, le mérite de reconnaître qu'il existe des bruits intérieurs sans tremblements

de terre, phénomènes acoustiques de nature sismique, mais dont la science moderne se préoccupe seulement depuis qu'en 1895, comme nous le verrons plus loin, Van den Broeck a attiré l'attention sur ces phénomènes.

Aristote se dit l'inventeur de la théorie des tremblements de terre, mais c'est pour l'histoire de la sismologie un problème important que de vérifier si cette assertion est exacte.

Comme nous l'avons dit, Anaxagore de Clazomène faisait intervenir dans sa théorie, du moins d'après Sénèque, l'air en mouvement, autrement dit le vent, dans les profondeurs terrestres. En disant que son prédécesseur faisait appel à un autre élément, l'éther, Aristote aura-t-il voulu se réserver l'honneur de la découverte ? C'est ce qu'il est impossible de décider maintenant. Qui a dit vrai, Sénèque ou lui ?

L'extraordinaire longévité des croyances de folklore va nous aider à résoudre la question.

Beaucoup de croyances populaires actuelles des pays méditerranéens mettent les vents en relation avec les tremblements de terre, par exemple, dans les Abruzzes (1), les îles Ioniennes (2) et ailleurs encore. Mais il y a mieux. Voici, en effet, ce que rapporte Strabon (3) parlant de l'île Lipari : « Selon l'intensité du bruit, comme aussi suivant l'endroit d'où viennent les exhalaisons, les flammes et la fumée, l'on peut prédire quel vent soufflera dans trois jours. Quelquefois même, d'après le calme complet des vents à Lipari, les habitants du lieu ont prédit, et toujours sans se tromper, des tremblements de terre. » D'autre part, Victor Bérard (4) rapporte ce que lui disait en vue du

(1) Gennaro Finamore. *Credenze. Usi e Costumi abruzzesi*, p. 18. Palermo, 1890

(2) David John. *Notes and observations on the Ionian islands and Malta*. T. I. Chap. VI. London, 1842.

(3) Liv VI. Chap. IV.

(4) *Les Phéniciens et l'Odyssée*. II. 204. Paris, 1903.

Stromboli le patron du bateau à bord duquel il se rendait à cette île, voisine de Lipari : « Rien n'est à craindre, c'est le beau temps ; avec ce vent du Nord, le Vieux (le volcan) ne grogne, ni ne crache, ni ne lance des bombes. Quand le vent se tourne au sud, le Vieux se met en rage. Alors, c'est un tremblement de terre qui secoue l'île comme un bateau sur mer et gare dessous ! C'est une pluie tout autour de cailloux et de pommes cuites. »

Ainsi, à dix-neuf siècles de distance, le folklore méditerranéen met en relation les vents avec des phénomènes volcaniques et sismiques. Retenons le fait sans nous arrêter à une divergence de détail. La croyance moderne se base sur l'existence du vent et l'ancienne sur son absence : au cours du temps les adages populaires se corrompent si facilement !

Si donc après tant de siècles ces croyances se sont maintenues de Strabon à nos jours, pourquoi n'auraient-elles pas été déjà très anciennes au temps d'Aristote ? Or, cette supposition est très vraisemblable puisque Diodore de Sicile (1) nous apprend qu'à une très haute antiquité, Éole, roi éponyme des îles Éoliennes, avant de devenir le dieu des vents, prédisait aux navigateurs de quelle direction les vents allaient souffler, et cela d'après l'observation du feu, c'est-à-dire des phénomènes volcaniques manifestés à Lipari ou au Stromboli. D'ailleurs le géant Typhée opprimé sous l'Etna, mythe connu d'Homère, mais rapporté par le rhapsode à l'Epomeo de l'île d'Ischia, est le même géant que Typhon qui a donné son nom aux cyclones ou tempêtes de l'Extrême-Orient. Le même personnage nous est encore représenté par Ovide (2) déchaînant les tremblements de terre, conjointement avec un autre

(1) Des fables des anciens.
(2) *Métamorphoses*. Liv. V. Fable IV. *Pluton blessé par l'amour*.

vent divinisé, Borée (1), la Bora des Dalmates de nos jours.

Ainsi donc, sans parler d'Anaxagore, Aristote a vraisemblablement rencontré, dans le folklore des anciens Grecs et dans leur mythologie qui en est dérivée, la théorie des vents fauteurs de tremblements de terre. Remarque piquante : de même qu'il leur attribuait l'ébranlement des espaces souterrains, de même aussi Ovide fait secouer par Borée le Tartare en même temps que la Terre.

La dépendance entre les vents d'une part et les tremblements de terre et le feu (des phénomènes volcaniques) d'autre part, a pu atteindre les philosophes grecs, en particulier Aristote, par deux autres voies, la Bible et les Védas. En effet, bien avant Homère, les navigateurs phéniciens ont visité les peuplades grecques pour commercer ; on sait qu'ils ont transporté avec eux certaines de leurs croyances mythologiques et ils étaient trop voisins des Hébreux pour n'avoir pas subi l'infiltration d'idées bibliques. On n'ignore pas non plus combien de thèmes religieux et philosophiques de l'Inde brahmanique, puis bouddhique, se sont transmis jusqu'au bassin oriental de la Méditerranée, au moins depuis Cyrus, à la suite des expéditions et des invasions des Mèdes et des Perses en occident.

Dans la vision d'Élie au mont Horeb, ou Sinaï, on lit (2) : « Et le Seigneur dit à Élie : Sors et va par la montagne ; et voici que passe le Seigneur, et devant le Seigneur un vent grand et fort qui moud les pierres ; le Seigneur n'était pas dans le vent ; et, après le vent, vint un tremblement de terre ; le Seigneur n'était pas dans le tremblement. Et après le tremblement, un feu ; le Seigneur n'était pas dans le feu. Et après le feu,

(1) Id. Liv. VI. Fable VIII. *Orythrée enlevée par Pluton.*
(2) *Le livre des Rois.* Liv. III. Chap. XIX, 11 à 12.

le murmure d'une brise. » L'association métaphorique du vent, des tremblements de terre et des phénomènes volcaniques est ici très intéressante pour une époque si reculée et on peut admettre qu'elle procède d'un folklore extrêmement ancien.

Ce rapprochement se présente aussi, mais dans un autre sens, dans certains textes bouddhiques, provenant certainement de croyances védiques, c'est-à-dire brahmaniques, et il y ressort d'une conception cosmogonique relative à la position de la terre dans l'espace. Les textes bouddhiques que nous a aimablement communiqués l'éminent orientaliste M. Sylvain Lévy, se rencontrent dans deux collections probablement rédigées entre le deuxième siècle avant J.-C. et le commencement de notre ère, mais les originaux sont beaucoup plus anciens.

Rédaction en langue Pali, extraite de l'Anguttara Nikya : « La terre repose sur l'eau ; l'eau repose sur le vent ; le vent repose sur l'éther. Au moment où les grands vents soufflent, les grands vents en soufflant font trembler l'eau ; l'eau en tremblant fait trembler la terre. C'est la première cause des tremblements de terre » (1). Outre l'action des grands vents, nous retrouvons ici l'éther de la théorie d'Anaxagore (d'après Aristote) et celle de la terre voguant sur les eaux, à laquelle croyait Thalès de Milet.

Rédaction tirée de l'Egottara Agama, traduction chinoise relativement récente de textes sanscrits beaucoup plus anciens. Le Bouddha parle à ses disciples : « Cette terre de Jambudvipa (le monde indien) a du Sud au Nord 21 000 yojanas (2) et de l'Est à l'Ouest 70 000 yojanas. L'eau a une épaisseur de 84 000 yojanas. Le feu a une épaisseur de 84 000 yojanas. Le

(1) Les sept autres causes sont d'ordre moral ou religieux.

(2) Le yojana est une mesure itinéraire que les orientalistes évaluent diversement de 4 à 9 milles anglais.

vent a une épaisseur de 68 000 yojanas. Sous le vent, il y a une roue de diamant ; là sont déposées les reliques des Bouddhas passés. Moines, apprenez ceci : De temps en temps, à certains moments, un grand vent s'agite exactement, et le feu s'agite ensuite, et quand le feu s'est agité, l'eau s'agite à son tour, et quand l'eau s'est agitée, la terre s'agite à son tour. » Ici intervient en outre le feu qui doit sans doute représenter les phénomènes volcaniques.

Et puisque nous en sommes à la sismologie des écrivains de l'Inde ancienne, signalons tout de suite leur nomenclature des tremblements de terre : Le mouvement (ondulatoire ?), le soulèvement, le bouillonnement, le tremblement (vibration ou trépidation ?), le rugissement, le choc. Il pourrait bien se faire que cette nomenclature ait inspiré l'énumération si analogue établie par le romancier Apulée dans son *Traité du Monde*. Cet ouvrage fut longtemps attribué à Aristote, mais la critique moderne l'a restitué à Apulée, confirmant ainsi le témoignage de St Augustin (1).

Notre conclusion est qu'Aristote peut difficilement être regardé comme l'auteur de la fameuse théorie des vents fauteurs des tremblements de terre.

IV. LES PHILOSOPHES LATINS ET LEURS SUCCESSEURS AU MOYEN AGE

Sauf Ammien Marcellin qui, à l'occasion du tremblement de terre de Nicomédie en l'an 368, osa se moquer de la théorie d'Aristote, les écrivains latins et, parmi eux, Sénèque et Pline, qui traitent longuement des mouvements du sol, se sont ralliés à cette théorie. S'ils n'ont innové en rien, il faut cependant signaler qu'ils se sont attachés mieux que leurs devanciers à

(1) *De Civitate Dei*. Liv. IV. Cap. II.

décrire les effets des commotions terrestres sur le sol, suivant ainsi la voie ouverte par deux auteurs grecs, tous deux nés à Apamée, le philosophe Posidonius (132 à 51) et le géographe Strabon (66 av. J.-C. à 24 ap.). Quant à Lucrèce, il n'a fait que mettre en vers les opinions courantes de son temps, ce en quoi il n'a pas mérité l'éloge de Virgile qui faisait allusion à lui : *Felix qui potuit rerum cognoscere causas.*

C'est là tout ce que nous a laissé l'antiquité classique de Rome.

Quelques Pères de l'Église ont fait œuvre de naturalistes en écrivant des « *Traités du Monde* », mais pour les tremblements de terre ils ont suivi très servilement Aristote. Ce sont par ordre chronologique : Isidore de Séville, Bède le Vénérable, Honorius d'Autun, Thomas d'Aquin et Albert le Grand. Ils n'en n'ont pas moins, durant des siècles de barbarie, maintenu allumé le flambeau de la science de leur temps. Quant à tous les autres, de langue grecque ou latine, ils ont surtout vu dans les phénomènes sismiques un châtiment de Dieu, au point que Philastrius, évêque de Brescia à la fin du quatrième siècle (1), déclarait hérétiques ceux qui leur cherchaient des causes naturelles.

Ce point de vue qui considère les tremblements de terre comme des châtiments était déjà fort ancien, puisque les historiens grecs et romains attribuaient à la colère de Neptune l'engloutissement d'Hélicé en Achaïe, à la suite du tremblement de terre de l'an 373 avant notre ère. A ce sujet, Sénèque fait une intéressante remarque d'ordre scientifique : « Aussi les lieux voisins de la mer sont-ils le plus sujets aux commotions ; et de là fut attribué à Neptune, le pouvoir d'ébranler la mer (c'est-à-dire de produire les marémotos). » Ceux qui connaissent les rudiments de la lit-

(1) *De Heresibus*. Cap. CII. Art. 1216. Édition de Migne.

térature grecque, savent que ce dieu y est nommé Sichichthon (qui ébranle la terre). Cela nous reporte bien en arrière, puisque Pindare (518 à 442) emploie déjà ce surnom.

Quoi qu'il en soit, l'opinion sismico-morale des Pères de l'Église, dont le plus brillant représentant fut St Jean Chrysostome dans ses fameuses homélies sur les tremblements de terre d'Antioche, se transforma chez les hagiographes. Ils firent de ces phénomènes des épisodes miraculeux, déchaînés surtout au moment du martyre de nombreux saints ; pour eux, c'étaient là des faits démontrant en quelque sorte par l'observation l'opinion des Pères. Mais, pour les uns comme pour les autres, la théorie d'Aristote, la connussent-ils d'ailleurs, n'intervient en rien, et il faut arriver à St Éphrem de Syrie (commencement du IVe siècle) pour la voir mentionnée. Elle y est condamnée nommément (1), au nom de la théologie plutôt qu'au nom de la philosophie.

Avec les innombrables et crédules chroniqueurs du moyen âge, les tremblements de terre deviennent des prodiges. Ils sont en outre accompagnés d'autres prodiges variés, soit inventés par ces auteurs, soit trouvés par eux dans les traditions populaires de leur temps.

Il résulte de ces considérations que la culture grecque a laissé bien plus de traces dans l'histoire de la sismologie que la culture latine.

V. RELATIONS DES TREMBLEMENTS DE TERRE AVEC D'AUTRES PHÉNOMÈNES NATURELS

On a pu dire sans exagération que si l'on effaçait de l'immense littérature sismologique tout ce qui a été

(1) *Opera*. Edition de Venise, de Gaspard Gerardi. 1755. I. 342. Adversus qui dicunt terræmotus a terræ inflatione fieri, et non a Dei Providentia.

écrit des relations qui existeraient entre les tremblements de terre et les phénomènes naturels extérieurs à l'écorce terrestre, on en supprimerait une partie très considérable. C'est qu'en effet la croyance à une cause extra-terrestre remonte à la plus haute antiquité ; elle est commune à tous les peuples et a traversé le cours des siècles. Les statistiques modernes faites à son sujet sont très contradictoires, ce qui est un puissant argument contre elles, et il faut avouer que, malgré tant de recherches, la science n'a fait aucun progrès dans cette voie décevante. D'autre part, cette connexion, faisant partie du folklore de tous les peuples des pays dont le sol est instable, se présente sous deux formes opposées, suivant que les phénomènes naturels en question sont considérés comme des effets, ou des pronostics de tremblements de terre. L'une et l'autre forme résultent de l'application irraisonnée du principe si dangereux : *Post hoc, ergo propter hoc*. Dans le domaine scientifique, les coïncidences plus ou moins approchées entre deux ordres de phénomènes naturels, permettent de démontrer arbitrairement à peu près tout ce que l'on veut.

Le peuple rattache aux tremblements de terre une infinité de phénomènes des domaines de la météorologie, de l'astronomie, ou plutôt de l'astrologie dans le sens péjoratif du mot, et de la biologie. On les trouve déjà énumérés en détail dans un ouvrage sanscrit du VIe siècle avant notre ère, le *Bhrat Sanhita*, ou traité d'astrologie naturelle, dû à Varaha Mihira (1). Cet astrologue n'a fait évidemment que réunir des croyances bien antérieures à lui, mais il serait très risqué de prétendre que toutes les fables mythologiques des Grecs qui touchent ce sujet proviennent de

(1) Traduit du sanscrit en anglais par le Dr H. Kern. Jl. asiat. Soc. of Great Britain and Ireland. N. S. t. V. London, 1871.

cette source, puisque, à propos des origines de la théorie aristotélicienne, nous avons déjà vu, au moins au temps d'Homère, un phénomène météorologique, le vent, jouer un rôle important dans la sismologie populaire. D'ailleurs, ces mêmes croyances ayant régné partout et dans tous les temps, il faut y voir un fait général et dénué d'origines particulières. Passer en revue ces croyances à travers les siècles n'aurait ici aucun intérêt. Il nous suffit, au point de vue historique, d'en avoir montré l'extrême antiquité. Il y a cependant quelques points sur lesquels il est intéressant d'attirer l'attention.

Il n'est aucun phénomène de l'atmosphère qui n'ait été mis en relation avec les tremblements de terre, comme pronostic, comme cause ou comme effet. Et il en est de même pour les phénomènes célestes.

Nous avons déjà parlé des conceptions sismologiques relatives aux supports de la terre et qui rentrent dans la catégorie des « contes pour expliquer », tandis que les tremblements de terre ayant accompagné la création de notre planète, ou celle de l'homme, ou devant signaler la fin du monde et le jugement dernier, en un mot les tremblements de terre apocalyptiques, n'ont qu'un caractère épisodique.

Dans l'astrologie occidentale, Saturne est la planète préposée aux fléaux, aux catastrophes et aux tremblements de terre, jusque dans les almanachs espagnols du XVIIIe siècle.

Varaha Mihira, déjà cité, s'étend longuement sur les astérismes, ou constellations, préposés au déchaînement des tremblements de terre, mais il ne signale point les conjonctions d'astres, qui jouent un rôle si considérable, même de nos jours encore, pour prédire les commotions terrestres, bien entendu sans aucun succès. C'est là une croyance purement astrologique, venue des Babyloniens, nous a déjà dit Pline. Au

milieu du IVe siècle Grégoire de Nysse (1) la condamnait, non pas au nom de la religion ou de la théologie, comme on pourrait le croire, mais au nom de la saine philosophie. C'est un fait assez étrange et digne d'être signalé que les astrologues de profession n'ont jamais mentionné les tremblements de terre comme causes de mort dans les horoscopes qu'ils tiraient à la naissance des princes (2), tandis que ces phénomènes ont très fréquemment servi, après coup bien entendu, de présages de la mort des grands personnages.

A cause de leur caractère effrayant, les comètes et les éclipses ont longtemps passé comme déchaînant ou présageant les tremblements de terre. Cela jusqu'à Képler lui-même pour l'éclipse de soleil du 25 février 1598 (v. st.). Et, conformément à l'opinion courante de son temps, il faisait dépendre de cette éclipse une petite secousse en Thuringe conjointement avec tous les événements politiques de l'année (3).

Les influences infiniment variées attribuées à la Lune sur tous les phénomènes de la nature et de la vie des plantes, des animaux, des hommes, voire même des peuples, par ses phases et ses passages au méridien, sont innombrables, et naturellement les tremblements de terre n'ont point échappé à ces influences. Ces superstitions ont même déteint sur la science, et les statistiques modernes ne sont pas encore parvenues à les extirper des préoccupations de certains sismologues.

Les anciens chroniqueurs mentionnent une foule d'épidémies, de pestes, de maladies individuelles et d'épizooties causées par les tremblements de terre. Ce thème est longuement développé dans l'ouvrage de Varaha Mihira, ce qui en démontre la très grande

(1) *Contra Fatum, seu Disputatio cum Ethnico philosopho.*

(2) H. Selva. *Traité théorique et pratique d'astrologie généthliaque*, 186, 271. Paris, 1887.

(3) *Opera omnia*. Ed. de Fritsch. T. XIII, p. 15. Francofurti a. M., 1870.

antiquité. Quant aux écrivains de culture latine, le document le plus ancien que nous possédions à cet égard est le passage dans lequel Sénèque rapporte et explique longuement l'asphyxie de 600 moutons, au grand tremblement de terre de la Campanie, en l'an 63 de notre ère. Lui et Aristote ont disserté sur l'analogie qu'ils trouvent entre les tremblements de terre et la fièvre chez l'homme, ce qui rappelle certaines croyances de folklore, d'après lesquelles la Terre personnifiée tremble parce qu'elle est atteinte de cette affection, ou parce qu'elle a froid. D'ailleurs la personnification de notre planète a été l'occasion de nombreux mythes sismiques.

Une autre opinion dans ce domaine biologico-sismique et qui, répandue même de nos jours, se rencontre dans les travaux de quelques sismologues estimables, est que les tremblements de terre exercent une influence sur les récoltes et la végétation dans un sens favorable ou défavorable. Mercalli (1) lui-même n'a pas craint d'en suggérer une explication électrique possible, mais sans dire explicitement s'il croit à cette influence. Cela nous conduit maintenant à parler des théories électriques et magnétiques des tremblements de terre, qui tiennent encore, mais bien indûment à notre avis, une grande place dans les travaux de quelques sismologues.

Les théories électriques des tremblements de terre sont en fait antérieures à la découverte de l'électricité, car, si l'on en croit Pline (2), elles remontent à l'antiquité babylonienne et il n'y a pas de raison pour douter de l'assertion du vieux naturaliste. Elles étaient alors, il est vrai, entachées d'astrologie, mais l'alliance des tremblements de terre, de l'éclair et de la foudre n'en constitue pas moins une véritable théorie électrique.

(1) *Vulcani e fenomeni vulcanici*, 347. Milan, 1880.
(2) Liv. II, Chap. LXXXI.

Voici ce que nous en dit Pline : « Selon la doctrine des Babyloniens, la terre ne tremble, ne s'entr'ouvre, ne souffre quelque grande convulsion que par l'influence des trois astres (les planètes supérieures, Saturne, Jupiter et Mars) dont ils font dériver la foudre. »

Cette opinion a-t-elle été réinventée au ve siècle av. J.-C. par Anaxagore de Clazomène, ou s'est-elle propagée de l'Orient à la Grèce, c'est ce que les documents connus ne permettent pas de décider ; mais étant donné ce que nous avons avancé antérieurement au sujet de la provenance probable de la théorie aristotélicienne, il y a tout lieu d'accepter la seconde solution. Quoi qu'il en soit, voici comment Sénèque expose les vues d'Anaxagore : « D'autres qui attribuent les tremblements de terre au feu, varient sur le mode d'action. Anaxagore est particulièrement de cette opinion, et croit que la cause des orages est aussi celle des tremblements de terre, c'est-à-dire qu'un vent enfermé sous terre vient à en briser les nuées du ciel : et de cette collision de nuages, de ce choc de l'air contre lui même, s'échappent des feux soudains. Ces feux, heurtant tout ce qui s'offre à eux, cherchent une issue, écartent tout obstacle, jusqu'à ce que, resserrés dans un étroit passage, ils trouvent une route pour s'échapper à l'air libre, ou s'en ouvrent une par la violence ou la destruction. » Il nous paraît probable que Sénèque aura pas mal ajouté à la pensée d'Anaxagore. Aristote (1) se montre à cet égard très affirmatif : « Quant à nous, dit-il, nous maintenons que le vent à la surface de la terre, le tremblement de terre dans ses entrailles et le tonnerre dans les nuages, sont une seule et même chose. Au fond et essentiellement, ces phénomènes sont identiques.

Il ne faut point s'étonner de cette conception qui

(1) *Météorologie*. Liv. II. Chap. IX. Art. 21.

a priori nous semble étrange. Par les grands orages, accompagnés d'éclairs, de tonnerre et de chutes de foudre, l'homme a souvent la sensation, parfois très nette, que son habitation et la Terre même sont ébranlées jusque dans leurs fondements, et il faut toute la critique de la science pour écarter cette illusion des sens.

Cette affirmation d'Aristote, dont nous venons de suggérer la filiation orientale probable, s'est maintenue intacte pendant de longs siècles, puis s'est transformée au milieu du XVIIIe siècle en des théories d'apparence plus scientifique, mais qui n'ont jamais pu s'imposer, car il leur manqua toujours l'appui d'observations sévèrement contrôlées.

VI. VOLCANS ET TREMBLEMENTS DE TERRE

Du fait que l'Italie possède des bouches ignivomes très actives et que des tremblements de terre en accompagnent souvent les éruptions, s'est implantée fermement dans la science occidentale cette croyance que les seconds de ces phénomènes sont la cause des premiers. Aussi serait-il difficile de compter les ouvrages qui, basés sur la théorie volcanique des commotions terrestres, ont été publiés sous le titre de *Volcans et Tremblements de terre*.

Les anciens poètes, Homère et Hésiode, ont connu la fable des Titans, des Cyclopes et de Vulcain. Mais les écrivains grecs n'en ont fait qu'un mythe purement volcanique, tandis que les classiques latins, Virgile et Ovide plus particulièrement, y ont ajouté l'élément tremblement de terre. Or, il faut se rappeler qu'un très grand nombre de peuples, tant anciens que modernes, ont expliqué les tremblements de terre en supposant que notre planète étant supportée dans l'espace par des êtres vivants, ses commotions sont produites par leurs

mouvements. Encelade, condamné par le vindicatif Jupiter à être opprimé sous l'immense poids de l'Etna, est une adaptation de cette fable. Au lieu de la Terre entière, les Grecs peu enclins à des exagérations trop grossières se sont contentés de la masse plus modeste d'une montagne. Sans doute, ils ont eu la fable d'Atlas supportant le monde, mais dans la mythologie grecque ce héros fabuleux ne produit pas de tremblements de terre. Le mythe a d'ailleurs pour origine la conception du rôle que les Égyptiens attribuaient aux montagnes de soutenir la voûte du ciel.

Soit par sa propre imagination, soit plutôt par des fables antérieures dont il nous est resté peu de traces écrites, Platon (1) s'est forgé du monde souterrain une géographie aussi précise qu'aurait pu la décrire Ulysse après sa descente aux enfers : « Après avoir fait plusieurs tours et détours sous terre, le troisième fleuve se jette en dessous du Tartare ; c'est ce fleuve qu'on appelle le Pyriphlégéton, dont on voit des laves jaillir en plusieurs endroits de la terre ». Platon est donc le père de nos théories sismico-volcaniques et c'est par deux voies différentes que nous les voyons dériver de la mythologie des Grecs et des Romains.

Deux écrivains latins seulement sont à citer au sujet des volcans. Ce sont Lucilius Junior, contemporain de Claude et de Néron, auteur d'un poème sur l'Etna, et un siècle plus tard, le romancier Apulée dans son Traité du monde. Tous deux faisaient intervenir les vents souterrains d'Aristote pour la production des phénomènes volcaniques, manifestant ainsi qu'ils ne les séparaient point des tremblements de terre. Si l'un et l'autre rejetaient les anciennes fables, seul Lucilius Junior englobait dans sa réprobation la théorie du Pyriphlégéton. Par son hypothèse de la combustion

(1) *Le Phédon*. Chap. LX ; LXI.

des matières sulfureuses des couches terrestres, ce dernier se trouve être le précurseur des nombreux philosophes du moyen âge et de la renaissance qui, en y joignant celle des matières nitreuses, ont professé une théorie chimique des phénomènes volcaniques et sismiques. L'identification de ces deux phénomènes date donc au moins du premier siècle de notre ère.

Indépendamment du dogme chrétien d'un châtiment dans l'autre monde, en un mot de l'enfer qui, en réalité, n'a pas de localisation dans l'univers matériel, les Pères de l'Église, qui furent les premiers philosophes chrétiens, ont adopté les croyances de Platon : le Tartare est devenu pour eux l'Enfer, le séjour des mânes, celui des damnés, puis, tout naturellement, les volcans sont devenus les cheminées des feux éternels. Sur ce thème se sont établies de nombreuses légendes sismiques et volcaniques dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

A quelle époque les explications des feux de l'enfer ont-elles pris la forme scientifique de l'hypothèse du feu central, ou du noyau fluide incandescent de la terre, c'est ce que nous n'avons pu déterminer avec certitude. Cette hypothèse expliquant à la fois les phénomènes sismiques et volcaniques, étroitement réunis, se rattache, comme nous venons de le montrer, à la mythologie. Maintenant on la base sur l'hypothèse de la terre primitivement à l'état de nébuleuse, qui, se condensant et se recouvrant d'une croûte solide, a conservé dans son intérieur un noyau de plus en plus restreint de matières incandescentes. Nous ne saurions d'ailleurs considérer comme un véritable progrès en sismologie d'avoir remplacé le feu central par le magma, pour expliquer les tremblements de terre par les explosions des gaz intérieurs.

En tout cas le cryptovolcanisme, théorie tirée des

laccolithes et batholithes de Gilbert, et dont Hoernes a développé l'histoire et les conséquences (1), ne nous semble point avoir fait progresser en aucune manière la sismologie proprement dite.

Il est intéressant de rechercher comment, à l'encontre de croyances séculaires et fermement enracinées, s'est fait jour la constatation de l'indépendance, au moins relative, des phénomènes sismiques. Cette indépendance paraît avoir été énoncée pour la première fois en 1599 par le célèbre explorateur Joseph de Acosta (2), quoiqu'il se soit fondé uniquement sur ses observations en Amérique. Bien plus tard seulement, Boussingault (3) énonça formellement le principe en 1834. Milne soutint cette thèse, mais plutôt incidemment, dans de nombreux mémoires et de Lapparent (4), non sans avoir longtemps tergiversé, lui donna l'appui de sa haute autorité. En fait, la théorie de l'indépendance relative du volcanisme et des tremblements de terre a maintenant rallié la plupart des sismologues et en 1881 Toula (5) a énoncé les caractères différentiels des tremblements de terre d'origine volcanique et tectonique. Plus tard Mercalli (6) les a encore mieux définis.

Comme on le verra dans un chapitre ultérieur que nous consacrerons à la sismologie dynamique moderne, cette indépendance relative se confirme du fait que la

(1) *Kryptovulkanische oder Injektions Beben.* Geol. Rundschau. II, 382. Leipzig, 1911.

(2) *Historia natural de las Indias.* Salamanca, 1589. Cap. XXVIII, p. 188 de l'édition de Séville en 1590.

(3) *Sur les tremblements de terre des Andes.* Bul. Soc. géol. France, VI, 14 sept. 1834, p. 52.

(4) *Le volcanisme.* Ann géographique, 1903.

(5) *Ueber den gegenwärtigen Stand der Erdbebenfrage.* Vortrag gehalten im Ver. z. Verbreitung d. naturw. Kenntn. am 23. März 1881. S. A. a. d. Schr. d. Ver. Wien.

(6) *I vulcani attivi della tierra*, p. 209. Milano, 1907.

force vive développée par les tremblements de terre est beaucoup moindre dans les séismes volcaniques que dans les séismes tectoniques.

Cela n'empêche d'ailleurs pas les tremblements de terre volcaniques et géologiques d'avoir en commun des causes géologiques plus générales et plus profondes.

F. de Montessus de Ballore.
Directeur du service sismologique de Chili.

(A suivre.)

LE PRINCIPE DE RELATIVITÉ

Une longue expérience a conduit les physiciens à admettre comme solidement établi un principe qu'ils appellent principe de relativité et qu'ils énoncent ainsi : « Deux observateurs animés de mouvements rectilignes et uniformes quelconques sont incapables de déceler leurs mouvements absolus, et ne constatent que leur mouvement relatif ». A première vue, cet énoncé paraît obscur et peu justifié, mais essayons d'en préciser le sens et nous verrons qu'il ne fait que traduire l'expérience de chaque jour.

Je suis en chemin de fer et je vois fuir à contre-voie un autre train : comment savoir si c'est lui qui est en marche, ou moi, ou tous les deux ? Généralement par les secousses de ma voiture dont le mouvement n'est pas, il s'en faut, rectiligne et uniforme : elle se ralentit et je suis projeté sur la banquette d'en face ; elle tourne et je suis porté à l'extérieur de la courbe ; elle vibre enfin et je le sens. Mais il n'est personne qui, au démarrage, dans une gare, en face d'un autre train arrêté, ne se soit trouvé une ou deux minutes impuissant à résoudre le problème : est-ce nous qui partons ou eux ? De même je sais bien, les observations astronomiques de plusieurs siècles me l'ayant appris, que notre système solaire se précipite vers la constellation d'Hercule avec une vitesse d'environ 25 kilomètres à la seconde; mais est-ce nous qui allons à Hercule ou Hercule qui vient à nous ? Courons-nous tous deux à la rencontre ou à la poursuite l'un de l'autre ? Et y a-t-il

moyen de le savoir ? Bien plus, la question a-t-elle même un sens, car en fin de compte que signifient ces mots de repos absolu ou mouvement absolu ? Nous ne constatons que des mouvements par rapport à des repères et les mouvements de ceux-ci par rapport à d'autres, indéfiniment.

Le principe de relativité semble donc abondamment justifié.

Mais il est un autre axiome pour le moins aussi solidement établi : celui de la constance de la vitesse de la lumière dans le vide. Quel que soit le mouvement uniforme de la source qui l'émet, la lumière se propage toujours avec la même vitesse par rapport à des repères qui partagent le mouvement de la source. Cette indépendance entre la vitesse de la lumière et le mouvement de la source qui l'émet, admise depuis fort longtemps, surtout depuis l'établissement de la théorie électromagnétique de la lumière par Maxwell et Lorentz, s'est vue confirmer par l'expérience célèbre de Michelson et Morley. Ces deux physiciens ont essayé de faire interférer des rayons lumineux après de multiples trajets, les uns parallèles, les autres perpendiculaires au mouvement de la source qui les produisait. Évidemment, si la vitesse de la lumière dépend tant soit peu du déplacement de sa source, un de ces rayons sera retardé par rapport à l'autre ; et comme par les franges d'interférence on peut évaluer des fractions de temps de l'ordre du huit-cent-trillionième de seconde, on apprécie la sensibilité de cette méthode. Or, elle n'a absolument rien donné. C'est une preuve négative, s'ajoutant à bien d'autres indications, de la constance de la vitesse de la lumière dans le vide.

Nous sommes donc en possession de deux principes également solides : le malheur est qu'ils sont difficilement conciliables. On peut s'en rendre compte par l'expérience fictive suivante.

Je suis assis immobile auprès d'une horloge bien réglée A et je vois fuir à perte de vue devant moi (avec une vitesse égale, par exemple, au dixième de la vitesse de la lumière) une horloge B absolument synchrone qu'emporte un de mes amis. Il est midi: je dois avertir cet ami quand je lirai une heure à *son* horloge et il doit m'avertir quand il lira une heure à la mienne. Nous admettrons que nos signaux mutuels nous arrivent instantanément. — On pense peut-être que nos signaux vont coïncider : pas du tout. En effet, quand son horloge s'éloigne, je la vois retarder sur la mienne ; je ne m'en étonne pas : je sais qu'il faut à la lumière, à l'image visuelle de son horloge, un certain temps pour me parvenir et je calcule que lorsqu'elle marquera 1 heure son image visuelle mettra 1/10e d'heure à m'arriver : je la recevrai à 1 heure 6 minutes et c'est ce qui a lieu. Je lance le signal convenu... mais l'ami ne répond pas: il ne m'annonce la fin de l'heure que 40 secondes plus tard. Cela tient à ce que l'image visuelle de mon horloge, marquant 1 heure, doit courir après B qui ne l'attend pas immobile comme je faisais, mais qui continue à s'éloigner. C'est le problème classique des courriers. Au bout de 6 minutes l'image est bien parvenue à l'endroit où se trouvait mon ami à la fin de l'heure, mais pendant ces 6 minutes il a fui plus loin et pour le rejoindre il faut à la lumière encore 40 secondes. Cette différence de 40 secondes entre nos signaux est due à ce qu'il est en mouvement et que je suis immobile.

Que conclure de ceci ? Que nous allons nous rendre compte, lui, de son mouvement, et moi, de mon immobilité. La différence de 6 minutes ne nous dit rien autre que ceci: nous sommes en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre ; mais la différence de 40 secondes nous dit en outre : et c'est lui qui est en mouvement par rapport à moi immobile.

Or, d'après le principe de relativité, il ne faut pas que nous puissions nous en rendre compte. Si donc nous ne voulons répudier ni ce principe, ni la constance de la vitesse de la lumière (hypothèse sous-jacente à tout le raisonnement précédent, puisqu'on a supposé que la lumière parcourait le même chemin dans le même temps, par rapport à B comme par rapport à A), nous sommes acculés à une antinomie et il faut en sortir.

La théorie de la relativité est précisément une théorie qui concilie les deux termes de cette antinomie sans en sacrifier un seul. Comment cela?

Par un moyen très élégant : nous admettrons que l'horloge de mon ami B a dû, par suite du mouvement, ralentir sa marche par rapport à la mienne dans le rapport (qui dépend de la vitesse de déplacement) de 1 heure 6 minutes à 1 heure 6 minutes 40 secondes. De la sorte, je verrai la fin de *son* heure 40 secondes plus tard ; il verra la mienne comme précédemment puisque celle-ci n'a pas varié, et nos signaux de fin d'heure coïncideront. Je sais bien que nous n'appellerons pas heure la même durée et si nous devions nous retrouver un jour nous n'aurions pas vieilli autant l'un que l'autre, mais jusque là ni lui ni moi n'en savons rien puisque nous n'échangeons que des signaux périodiques. Nous sommes d'accord et nous restons incapables de savoir lequel des deux est immobile et lequel en mouvement.

Donc pour que le principe de relativité soit satisfait, il faut tout d'abord que, par le fait qu'elle est en mouvement par rapport à une horloge supposée fixe, une horloge soit retardée dans une proportion calculable et qui est fonction de la vitesse de ce mouvement.

Mais, me direz-vous, mon ami n'a pas qu'une horloge, il en a des milliers. En effet, si A est un habitant de la constellation d'Hercule, l'automobile qui emporte

B est le système solaire : et les physiciens de ce pays de là bas, de la terre, appellent horloge tout mouvement qu'ils supposent périodique : le battement d'un balancier, la vibration d'un diapason, voilà leurs horloges. Veulent-ils mesurer de plus longues durées, ils emploient la révolution de la terre sur elle-même ou autour du soleil... plus simplement, au fond d'une cave, leur estomac leur dit qu'il est midi. Que faut-il donc pour qu'il n'y ait aucune discordance ? Que tous les mouvements internes de ce système, tous les phénomènes observables sur cette planète, soient, par son mouvement, ralentis dans le même rapport, tous, tous, y compris les phénomènes physiologiques. En un mot, ils auront un *temps local* qui sera fonction de leur vitesse : ou mieux, le temps est pour un mobile un milieu tout local, tout relatif. La mécanique classique supposait au contraire un temps absolu, invariable, indépendant du mouvement qu'il mesure ; cette mécanique peut être suffisante aux petites vitesses ; mais elle est imprécise, et doit être remaniée.

Je n'examine pas pour le moment si cette élasticité du temps ne dérange pas un peu nos idées ; je ne fais que dérouler les conclusions des principes physiques que nous avons posés. Remarquons cependant que cette élasticité du temps n'est pas comparable à celle du caoutchouc. Pour une vitesse de translation égale au dixième de la vitesse de la lumière (soit 30 000 kmsec.), le ralentissement du temps a dû être de 40 secondes pour 1 heure 6 minutes 40 secondes, c'est-à-dire d'un centième. Or, de telles vitesses ne sont pas réalisées tous les jours, sauf dans le domaine des corpuscules radio-actifs : pour une vitesse déjà grande à notre sens, celle d'une balle de fusil faisant 300 mètres à la seconde, le ralentissement ne serait que d'un millionième de millionième.

Mais le principe de relativité nous conduit à d'autres conséquences. Nous venons de voir que pour le mobile B qui s'éloigne de A supposé immobile, le temps a été ralenti par le mouvement et ralenti d'un centième pour une vitesse égale au dixième de la vitesse de la lumière. Or, je suppose que A et B veuillent évaluer tous deux leur vitesse relative ou une vitesse quelconque, par exemple celle de la lumière dans le vide. Ils vont trouver des chiffres différents, puisque leurs heures n'ont pas la même durée ; ils pourraient donc se rendre compte de cette différence de durée. Que faut-il pour perpétuer leur mutuelle ignorance et sauvegarder le principe de relativité? Tout simplement que les kilomètres de l'observateur mobile se soient raccourcis de telle sorte qu'il en trouve le même nombre que l'observateur fixe dans la distance parcourue en ces durées différentes que tous deux appellent une heure. Il faut, la chose ne manque pas de hardiesse, que, pour l'observateur mobile, ses règles, ses décamètres, les dimensions de tous les objets qui l'entourent et dont il se sert comme d'unités pour évaluer les distances, son corps lui-même, son *espace* en un mot, se soient contractés par le fait du mouvement et dans le sens parallèle au mouvement. A ce prix mon ami B et moi A serons d'accord : son kilomètre ne sera pas mon kilomètre, sa seconde ne sera pas ma seconde, mais quand nous nous signalerons la fin d'une heure, nos signaux coïncideront et quand nous nous demanderons mutuellement notre vitesse, nous répondrons tous deux par le même chiffre ; il sera impossible de savoir lequel est immobile.

On appelle cette explication : hypothèse de la contraction longitudinale ou de Lorentz.

Sans nous laisser arrêter par l'étrangeté des conclusions auxquelles nous arrivons, poursuivons jusqu'au

bout la construction de notre édifice logique ; nous l'apprécierons ensuite. — Dans un système en mouvement, le temps et les longueurs parallèles à la direction du mouvement sont fonction de la vitesse du mobile. Sans entrer dans les calculs, nous pouvons comprendre que les équations de la mécanique qui relient entre eux le temps, la masse et l'accélération ne pourront se conserver qu'à la condition de faire subir à la masse des modifications convenables. Et ainsi l'on trouve qu'un corps en mouvement a deux masses : l'une transversale au mouvement : l'autre longitudinale, et que cette dernière tend à devenir infinie quand la vitesse tend à devenir égale à celle de la lumière. Or, cette loi de variation de la masse est précisément celle que suit l'inertie d'origine électromagnétique des projectiles cathodiques d'une ampoule de Crookes. Il faut pour leur communiquer les vitesses formidables d'environ 280 000 kmsec., qu'on est arrivé à leur donner, dépenser une énergie croissante, comme si ces grains d'électricité devenaient de plus en plus lourds à mesure que leur vitesse augmente.

Cette constatation étonnante ouvrait la voie à de magnifiques généralisations. La masse joue, en effet, deux rôles distincts : en mécanique, elle n'est qu'un quotient, le rapport de la force appliquée à un point libre à l'accélération qu'elle lui communique ; et c'est là son premier rôle. Mais comme ce rapport jusqu'ici avait paru constant, le physicien ou le philosophe s'étaient habitués à considérer la masse comme caractéristique principale de la quantité de matière ; et c'était là son second rôle. Le principe de relativité montre qu'elle ne peut jouer ce second rôle puisqu'elle est susceptible de variations. Mais on peut prendre la chose sous un autre biais : puisque la masse ou inertie d'un système dépend de son mouvement, puisque communiquer de la vitesse revient à augmenter la masse, on est conduit

à identifier celle-ci avec l'énergie. Et en lui conservant son rôle de caractéristique de la quantité de matière, on dira que toute matière est en fin de compte réductible à de l'énergie. Si l'on préfère, cela revient à matérialiser l'énergie ; la doctrine classique de la conservation de la masse perd son sens : elle devient un cas particulier de la doctrine plus compréhensive de la conservation de l'énergie. Dans la voie ainsi ouverte, on s'est lancé hardiment, cherchant à mettre en évidence la convertibilité de la masse en énergie.

Si nos vues sont justes, un faisceau lumineux, qui n'est qu'un flux d'énergie, doit pouvoir produire des effets mécaniques. Et c'est ce que l'on vérifie expérimentalement : on a construit des radiomètres spéciaux, sortes de tourniquets placés dans un vide très parfait et que la lumière solaire fait légèrement tourner. La lumière exerce donc une pression sur les obstacles qu'elle rencontre, un peu comme la pluie sur les vitres qu'elle fouette : on appelle cette pression du nom de Maxwell-Bartholi. C'est par elle encore que l'on explique ces queues des comètes qui, on le sait, vont toujours en s'éloignant du soleil et tournent autour du noyau comme une ombre à mesure que la comète avance sur sa trajectoire. Ce fait est dû à ce que les petites particules détachées du noyau sont atteintes par la lumière du soleil qui les repousse avec une force appréciable relativement à leur faible poids.

Enfin, et par là nous allons rectifier notre principe de la constance de la vitesse de la lumière, si la lumière se comporte comme une chose pesante, elle pourra subir l'action d'un champ de gravitation, en particulier être déviée par son passage au voisinage d'une masse attirante assez considérable : or, on a, lors d'une éclipse de soleil l'été dernier, vérifié une déviation de 0″83 pour un rayon lumineux stellaire passant au voisinage du soleil pour parvenir jusqu'à nous.

Si extraordinaires que soient ces conclusions, elles n'auraient cependant pas trop surpris Newton qui, lors de ses études sur la gravitation, se posa sérieusement la question de savoir si la lumière pourrait être déviée par le champ gravitationnel des planètes.

Si l'énergie est convertible en masse, la force est convertible en mouvement et réciproquement. Soit, en effet, un observateur cahoté dans un wagon en marche et sans moyen de communiquer avec l'extérieur ; il a le choix entre les deux hypothèses suivantes : ou bien le train est en marche et subit des accélérations brusques ; ou bien le train est immobile et des forces attractives extérieures agissent à travers les parois. Il arrivera sans doute assez vite à lever son indétermination, mais on conçoit des cas où il pourra être pratiquement impossible de distinguer entre un champ de mouvement et un champ de forces. H. Poincaré l'a fait remarquer : si la terre était entourée de nuages, nous ne saurions pas qu'elle tourne et nous pourrions attribuer la force centrifuge (par exemple, la force centrifuge composée qui fait tourner le pendule de Foucault) à un champ d'origine extérieure.

De nombreux exemples peuvent être donnés pour confirmer cette difficulté de choisir entre force et mouvement. Soit une cage d'ascenseur tombant librement dans le vide : cette cage est un « espace » où il n'y a pas de pesanteur. Tenez-y votre chapeau du bout des doigts et écartez ces doigts : le chapeau reste « suspendu » entre eux (nous disons qu'il tombe avec la même vitesse que la cage); lancez-le en l'air, il monte indéfiniment (nous disons qu'il tombe moins vite que la cage). Les habitants de cet espace peuvent se croire immobiles et dire que les glissières de l'ascenseur ont une accélération constante. Il peut donc y avoir une

équivalence entre la gravitation et une accélération, d'où la loi d'Einstein : un champ de forces peut toujours être remplacé par une accélération convenablement choisie des axes coordonnés auxquels on se réfère.

Si l'on peut remplacer ainsi la totalité d'un champ de gravitation par un mouvement convenable, il est clair qu'on peut aussi bien n'en remplacer qu'une partie; mais alors le partage exact entre ce qui revient au mouvement et ce qui revient aux forces est introuvable et les lois physiques dans lesquelles il est intervenu perdent leur valeur. En particulier les forces centrifuges ne se distinguent pas des forces gravifiques.

L'assimilation peut même être poussée plus loin : dans un laboratoire en mouvement uniformément accéléré plaçons une source lumineuse et un spectroscope. La source envoie de la lumière à une vitesse déterminée et constante ; le spectroscope se meut et par suite la reçoit à une vitesse uniformément variable ; il en résulte une variation continue de la longueur d'onde, un peu comme le mouvement d'une locomotive (effet Döppler-Fizeau) influe sur la hauteur du son qu'elle semble émettre en sifflant. En définitive, l'accélération, ou, comme on voudra, la pesanteur, a agi sur la lumière pour la modifier.

Bref, en poussant jusqu'au bout les principes qui découlent de la relativité, on arrive à établir un vaste système synthétisant l'espace, le temps, l'énergie, la force, la masse et la lumière. Cette synthèse n'a qu'un inconvénient, elle bouleverse toutes les idées reçues, tout le sens commun accrédité par la mécanique classique.

En face de ces données deux attitudes d'esprit sont possibles. On peut prendre au pied de la lettre les

conclusions obtenues et sacrifier délibérément les « préjugés héréditaires ». Le temps n'est plus, pour un observateur en mouvement, qu'un phénomène local ; il se ralentit suivant une loi qui dépend de sa vitesse. L'espace aussi se contracte longitudinalement. La masse n'est plus constante ; elle n'est plus une caractéristique de la quantité de matière, elle n'est pas la même longitudinalement et transversalement, elle varie avec la vitesse et semble d'origine électromagnétique. D'ailleurs il est impossible de distinguer entre force et accélération, entre masse et énergie. Dans ces conditions deux observateurs ne peuvent jamais réaliser s'ils sont en repos ou en mouvement absolu. La notion de mouvement et de repos absolu se dérobe comme inexistante, puisque, de plusieurs corps animés de mouvements relatifs, nous pouvons en choisir un arbitrairement et lui attribuer l'état que nous avions cru exprimer par les mots de repos absolu. Une petite fille saute à la corde dans un express en marche : le train saute par rapport à elle, la terre fuit par rapport au train, le soleil par rapport à la terre, la constellation d'Hercule par rapport au soleil ; cette petite fille peut sans inconvénient se dire le centre du monde. Quant à nos idées habituelles sur l'espace, le temps et la masse absolus, elles manquent de généralité, tout simplement comme la géométrie qui n'admettrait que trois dimensions. C'est en vertu d'un tel état d'esprit que l'on voit, par exemple, un savant astronome d'aujourd'hui écrire : « Rien ne s'oppose à ce que, cessant de voir dans la gravitation une force effective, nous l'envisagions comme une propriété géométrique de l'espace à quatre dimensions (la quatrième étant le temps), où nous vivons, qui deviendrait non-euclidien au voisinage des corps attirants, et cette propriété serait de même nature que la force centrifuge dans l'espace tournant ».

Mais il est une autre attitude d'esprit, pour laquelle nous avouerons notre préférence. On peut ne voir dans tout ce qui précède qu'une synthèse mathématique et c'est bien ainsi que l'envisagent de nombreux physiciens, même quand ils parlent de temps local ou de contraction de Lorentz. Demandez à un de ces physiciens ce qu'il entend par temps local, il vous répondra que c'est une fonction du temps absolu et de la vitesse du mobile. Demandez-lui ce qu'est une loi physique, il vous répondra : c'est une équation que vérifient constamment les éléments d'un phénomène ou les coordonnées d'un point. La physique, on le voit, cesse d'être imaginative pour devenir abstraite.

Quelles sont donc les conditions imposées à cette physique mathématique ? Simplement que l'expression algébrique d'une loi phénoménale ne change pas de forme quand on change le système d'axes coordonnés auxquels on rapporte le phénomène ; c'est-à-dire que l'on puisse passer de la première expression à la seconde par une transformation définie, par exemple linéaire. Ainsi les lois de la chute d'un corps rapportées à trois axes rectangulaires dont l'un est la verticale, sont définies par des équations simples ($x = 0$, $y = 0$, $z = \frac{1}{2}gt$) ; choisissons de nouveaux axes de coordonnées définis par rapport au premier système et une transformation simple nous donnera les équations représentatives de la chute des corps dans ce nouveau cas. Une loi physique dont l'énoncé changerait suivant le système d'axes ne nous apprendrait rien.

Mais pourquoi se limiter aux trois coordonnées x, y, z, définitives de l'espace géométrique, quand on peut considérer la quatrième variable de la mécanique, le temps, comme étant simplement une coordonnée de plus dans l'espace à quatre dimensions, c'est-à-dire en bon français dans les équations du phénomène étudié. Et que faut-il pour y faire rentrer le temps,

sinon le définir en fonction de la vitesse du mobile suivant la formule du temps local? Telle est l'idée de Minkowsky. Le principe s'énonce alors ainsi : les lois physiques gardent la même forme pour tout système d'axes rectangulaires dans l'espace à quatre dimensions. Cet énoncé constitue un progrès en ce sens qu'il donne des relations beaucoup plus générales et qu'il synthétise un plus grand nombre de phénomènes. On dira que les équations citées plus haut et accompagnées d'une équation nouvelle par rapport à l'axe des temps définissent la *ligne d'univers* du point considéré dans son mouvement.

Einstein a encore généralisé ceci. Pourquoi limiter le choix d'axes coordonnés aux systèmes rectangulaires? Nous pouvons tout aussi bien recourir à des axes obliques ou à des coordonnées curvilignes, ce qui nous permettra de faire rentrer dans notre synthèse les forces centrifuges et les mouvements planétaires. On devra simplement s'assujettir à la condition que les équations de la physique soient « invariantes » pour tout changement d'axes.

Si l'on a suivi notre raisonnement forcément abstrait, on voit que la théorie de la relativité se réduit à un choix d'équations entre des grandeurs auxquelles on a conservé les anciens noms de masse, de dimensions, de temps, de force, d'accélération, mais qui ne représentent la masse, l'espace, le temps vulgaires que dans certaines conditions restrictives. L'intérêt d'une telle théorie est dans la généralité des résultats obtenus. Aussi serait-il injuste de marchander les éloges à cet ensemble audacieusement et laborieusement édifié par les Maxwell, les Hertz, les Lorentz, les Abraham, les Einstein, et dans lequel viennent se ranger les lois des mondes électrique, magnétique, thermique, ainsi que la gravitation des astres et les harmonies de la lumière.

Mais en général nous ne nous résignons pas facilement à ne voir dans la physique que des calculs coordonnés et des lois mathématiques ; nous voulons y trouver une explication du monde sensible. Quel progrès de connaissance nous apporte sur ce point la théorie de la relativité? On peut, croyons-nous, répondre qu'elle nous rend un réel service en nous forçant à soumettre à une critique serrée les notions acceptées jusqu'ici comme évidentes. Nous nous sommes soigneusement abstenus d'entrer dans le champ de la critique philosophique et nous sommes bornés à rapporter les idées en cours actuellement, mais l'esprit réfléchi de nos lecteurs n'a pas pu ne pas se demander ce qu'il faut penser en saine philosophie de cette réduction de la matière à l'énergie, de cette relativité du temps, de cette déformation de l'espace, de cette variabilité de la masse. Que peut-on en accepter ? Comment doit-on les interpréter ? A quelles conditions ne rien perdre du donné scientifique, s'il y a un réel donné scientifique, et ne pas sacrifier le minimum d'objectivité nécessaire au monde matériel ? Tels sont les problèmes qui se posent, et les avoir posés, c'est déjà une étape intellectuelle. Ne pas douter, c'est ne pas avoir soupçonné les limites étroites de son savoir.

EMILE DELAYE,
Ingénieur.

L'ÉLECTRICITÉ

Substance ou Accident ?

(Suite) (1)

Les équations de Maxwell présentent une particularité remarquable : on passe des unes aux autres en permutant les lettres qui représentent les composantes du déplacement électrique avec celles de la force magnétique : elles impliquent par suite une loi de réciprocité entre les actions électriques et magnétiques (2). Maxwell en a déduit que toute variation du champ électrique produit un champ magnétique dont la force le long d'un contour fermé est égale à la variation du flux électrique : il en résulte un déplacement variable et un courant de déplacement : d'autre part, une variation de champ magnétique crée un champ électrique et développe une force électromotrice, dont la valeur en chaque point est égale au taux de la variation dans l'unité de temps du nombre de lignes de force qui y passent, en donnant lieu à un phénomène d'induction faradique. Toute espèce de perturbation électromagnétique fait naître ainsi deux champs, l'un magnétique, l'autre électrique, étroitement solidaires

(1) Revue des Questions scientifiques, IIIe série, t. XXVIII, juillet 1920, p. 65, octobre 1920, p. 305.

(2) Hertz a complété l'œuvre de Maxwell en donnant à ses six équations une forme plus symétrique, qui met mieux en évidence la réciprocité des phénomènes électriques et magnétiques sur laquelle repose ce qui suit.

l'un de l'autre ; la variation de l'un engendre l'autre ; ils ne peuvent exister seuls, qu'à la condition de rester constants. Ils sont perpendiculaires l'un à l'autre et perpendiculaires tous deux à la direction de leur propagation. Nous constatons dès lors dans les phénomènes deux formes d'énergie, électrostatique et électrocinétique, potentielle et actuelle, comme le suppose la théorie ondulatoire de la lumière de Young et de Fresnel (1) ; de plus, on voit que les perturbations électrique et magnétique sont transversales à la direction de propagation, comme celles qui constituent la lumière.

Il y a plus. Les équations ne montraient pas seulement que les deux champs s'engendraient l'un l'autre ; elles laissaient voir que les perturbations se propagent dans le milieu avec une vitesse V égale à $\frac{1}{\sqrt{K\mu}}$, K et μ étant exprimés dans le système électromagnétique et électrostatique (2). La valeur de V est précisément celle du rapport des unités électromagnétique et électrostatique de quantité. Or, ce rapport est lui-même égal à la vitesse de la lumière dans le vide. La génération des deux champs se poursuit donc de proche en proche dans l'éther, et elle y progresse avec une vitesse V égale à celle de la lumière traversant les espaces.

L'esprit de Maxwell rapproche ces données, qui ne sont pas de fortuites coïncidences. Il y joint une autre observation : μ est égal à 1 dans les corps transparents, de sorte que la vitesse de propagation de l'onde électromagnétique est inversement proportionnelle à la racine carrée du pouvoir inducteur diélectrique K ; la vitesse de la lumière est, d'autre part, inversement proportionnelle aux indices de réfraction des milieux traversés. « Il faut donc, dit-il, dans notre théorie,

(1) Maxwell, *op. cit.*, t. II, chap. XX, pp. 485 et suivantes.

(2) Rappelons que K est le pouvoir inducteur spécifique électrostatique et μ la perméabilité magnétique.

» que le pouvoir diélectrique d'un milieu transparent » soit égal au carré de son indice de réfraction », et il constate que c'est à peu près vérifié pour la paraffine.

Il entrevoit alors, dans une intuition géniale, que l'œuvre de Fresnel peut être traduite en langage électromagnétique, et il annonce que la lumière est un phénomène électrique ! Et il crée de toutes pièces cette théorie merveilleuse, qui ne pouvait sortir que du cerveau d'un dieu, au témoignage d'un physicien allemand, peu enthousiaste de sa nature et non prodigue des expressions de son admiration pour la science anglaise (1).

La théorie dont je veux parler est connue sous le nom de *théorie électromagnétique de la lumière*. Ingénieuse fantaisie de mathématicien, a-t-on dit d'abord, poème mathématique admirable, grandiose création d'une imagination puissante, une vue d'aigle, dit-on généralement aujourd'hui. Quelle que soit l'opinion que l'on en ait, il faut reconnaître que cette théorie constituait une extraordinaire nouveauté, en l'année 1873. Alors la majorité des physiciens, enfin conquise à la théorie des ondulations, admettait que ce qui se propage dans l'éther ne pouvait être qu'un mouvement de ses éléments.

Cette nouveauté, il fallait l'expliquer, la justifier, en démontrer la vérité. L'argumentation reposait sur des calculs, dont nous ne pouvons ici que signaler l'existence, et sur des considérations logiques, que nous essaierons de résumer et de lier le mieux qu'il nous sera possible.

« Remplir l'espace d'un nouveau milieu toutes les » fois que l'on doit expliquer un nouveau phénomène, » ne serait point un procédé très philosophique », écrit

(1) « *Ist es ein Gott der diese Zeichen schrieb ?* » Boltzmann a inscrit ces mots en exergue de ses *Vorlesungen über Maxwell's Theorie* (Leipzig, 1891); traduction libre : *Incessu patuit deus !*

Maxwell ; en conséquence, il suppose que le diélectrique isolant et diaphane, à travers lequel les phénomènes d'induction se transmettent et se propagent, est aussi le siège des actions qui affectent notre rétine en produisant sur elle l'impression d'une intensité lumineuse : celles-ci comme ceux-là y sont localisés. Mais quelle en est la nature ? Ici nous passerons la parole à Poincaré. A cette question « Maxwell répond hardiment : » ce sont des courants ! Toute l'expérience de son temps » semblait le contredire ; on n'avait jamais observé de » courants que dans les conducteurs. Comment Max- » well pouvait-il concilier son audacieuse hypothèse » avec un fait si bien constaté ? Pourquoi, dans certaines » circonstances, ces courants hypothétiques produisent- » ils des effets manifestes, et sont-ils absolument inob- » servables dans les conditions ordinaires ? C'est que » les diélectriques opposent au passage de l'électricité, » non pas une résistance plus grande que les conduc- » teurs, mais une résistance d'autre espèce » (1).

Cette résistance d'autre espèce, nous l'avons déjà rencontrée sous la plume de Maxwell, et nous l'avons signalée à plusieurs reprises, en divers phénomènes ; c'est la résistance élastique, analogue à la résistance opposée au mouvement par un ressort, qu'il faut comprimer pour avancer, essentiellement différente de la résistance qu'on doit surmonter pour faire progresser un corps au milieu d'un liquide, plus ou moins dense et fluide, dont on coupe et dont on écarte les veines pour se frayer un chemin. Cette dernière résistance dépend de la vitesse du mobile : le travail dépensé pour la vaincre, est transformé en chaleur dans le liquide ; le mouvement se prolonge, tant qu'agit la force qui le produit ; celle-ci disparaissant, le corps s'arrête tout court, sans tendre à revenir en arrière.

(1) H. Poincaré, *La théorie de Maxwell*, pp. 11 et suivantes. Cf. aussi *Electricité et Optique*, pp. 155, 169, etc.

La résistance élastique est celle du ressort qui se bande : elle va en croissant à mesure qu'il se tend et ne tarde pas à devenir insurmontable : le mouvement prend alors fin, et l'équilibre s'établit. Mais si la force cesse d'agir, le ressort se débande et restitue tout le travail dépensé dans la phase antécédente, et l'on peut admettre que rien ne s'en convertisse en énergie calorifique. Les courants qui circulent dans les conducteurs (appelons-les les courants de *conduction*) ne rencontrent que de la résistance visqueuse : ceux qui surmontent la résistance élastique sont déjà connus de nous, ce sont les courants de *déplacement* de Maxwell. Ils sont nécessairement de durée limitée, généralement très courte, à moins qu'ils ne se poursuivent sous forme alternative, auquel cas ils sont d'alternance rapide : ils ne sont soumis ni à la loi d'Ohm, ni à celle de Joule, et ne produisent que des effets électromagnétiques et inductifs. On les voit à l'œuvre dans un condensateur, dont on met les armatures respectivement en communication avec les pôles d'une pile. Un courant instantané prend naissance, mais s'interrompt aussitôt que les armatures sont portées au potentiel des pôles : un courant alternatif se prolonge au contraire, et franchit la coupure renfermant le diélectrique. Nous avons déjà dit que, pour Maxwell, tous les courants de déplacement sont fermés.

C'est dans ces courants qu'il faut chercher l'origine de la lumière. Une flamme est un phénomène électrique. Une onde lumineuse est constituée par une suite de courants alternatifs de déplacement, qui changent de sens un million de milliards de fois par seconde, se propagent par induction, d'une portion à l'autre du diélectrique, avec une vitesse que le calcul nous a démontrée égale au rapport des Unités, donc avec la vitesse de la lumière. Ces courants alternatifs sont des vibrations électriques : s'ils étaient ouverts, l'électricité

se portant d'une extrémité des circuits à l'autre, s'accumulerait aux pôles, se condenserait par suite et se raréfierait, comme le fait l'air dans les vibrations sonores, et elle engendrerait des vibrations longitudinales. « Mais Maxwell n'admet que des courants fermés; » cette accumulation est dès lors impossible et l'élec- » tricité se comporte comme l'éther incompressible de » Fresnel ; ses vibrations sont transversales » (1) ; il démontre de plus que, dans un milieu isotrope, la densité reste constante, et il en déduit que le déplacement est perpendiculaire au plan de polarisation, comme le suppose la théorie de Fresnel.

Maxwell retrouvait de la sorte tous les éléments du mécanisme des ondes lumineuses ; c'était un triomphe, un premier triomphe ; mais il fallait autre chose pour arracher aux physiciens « séduits plutôt que convaincus », un assentiment complet ; ces vues de l'esprit avaient besoin d'une confirmation expérimentale. La relation $K = n^2$, trouvée exacte pour les gaz et quelques liquides, ne se vérifiait ni pour l'eau, ni pour le verre, ni pour beaucoup de solides (2). La thèse de Maxwell attendait donc toujours son expérience cruciale ; il fallut l'attendre vingt ans. Ce fut l'œuvre de Hertz.

Celui-ci a raconté, en 1889, aux naturalistes et médecins allemands, réunis en congrès à Heidelberg, comment il fut amené à entreprendre les travaux qu'il a eu le rare bonheur de mener rapidement à bonne fin et qui ont immortalisé son nom (3).

(1) Cf. H. Poincaré, *La théorie de Maxwell*, p. 18 ; *Electricité et Optique*, p. 170.

(2) Lorsque Maxwell formulait la loi $K = n^2$, il ne connaissait que le pouvoir de la paraffine $K = 1,97$, dont la racine carrée est 1,405 : or, $n = 1,422$; l'écart était notable, mais ces chiffres se rapportaient à deux états différents. On s'accorde aujourd'hui à admettre que la relation serait vérifiée si l'on comparait les résultats obtenus dans des conditions identiques, et si l'on opérait sur des isolants parfaits avec des ondes de longue période.

(3) La conférence de Hertz avait pour titre : *L'Identité de la lumière et de l'électricité ;* elle a été traduite et publiée par la REVUE SCIENTIFIQUE, dans le numéro du 26 octobre 1889.

Pas plus que Faraday, Maxwell n'avait réussi à démontrer, par une expérience indiscutable, que la propagation des forces à travers le diélectrique exige réellement un temps déterminé : tous les essais effectués dans ce but avaient échoué. De quoi s'agissait-il en somme ? De décharger une bouteille de Leyde et d'observer s'il y avait un retard dans l'oscillation d'un électroscope voisin. Comme celui-ci ne pouvait guère être éloigné de la bouteille que d'une dizaine de mètres, il fallait apprécier un intervalle de temps de l'ordre des millionièmes de seconde. C'était assurément une opération délicate, mais Foucault en était venu à bout, puisqu'il avait mesuré en chambre la vitesse de la lumière. Malheureusement, en électricité, la difficulté la plus grande ne consistait pas dans l'appréciation d'un intervalle de temps excessivement court : elle résidait surtout en ce que l'on ne possédait pas de repère assez bref et assez précis pour marquer le moment initial et final du phénomène de propagation. « Lorsque nous voulons, disait Hertz, prendre une » longueur jusqu'au dixième de millimètre, nous n'en » marquons pas le commencement par un gros trait à » la craie ; si nous voulions déterminer un temps au » millième de seconde près, il serait absurde d'en » marquer le début par le son d'une grosse cloche ». Le fruit des longues réflexions du jeune savant (il avait alors 24 ans) fut qu'il fallait renoncer à résoudre le problème directement : au lieu d'aborder l'obstacle de front, il le tourna, conformément aux préceptes de la stratégie.

De célèbres expériences de Feddersen, dont lord Kelvin avait donné la théorie, lui servirent de point de départ.

Un condensateur, qui se décharge à travers un conducteur ayant une capacité C et une self L, ne le fait pas d'un coup et en un seul temps, mais d'une façon

alternante, ce qui veut dire qu'il se produit une série d'étincelles discontinues, jaillissant d'une électrode A à une électrode B, puis de B en A, et ainsi de suite. On le constate en glissant rapidement une carte entre les deux électrodes ; elle présente une série de petits trous, percés alternativement de la face avant à la face arrière du carton et réciproquement. On dit que la décharge est oscillante. Il se produit un va-et-vient entre les armatures pendant que s'effectue la décharge, et ce va-et-vient est analogue au mouvement d'un diapason, mis en vibration. La durée de la période est calculable ; sa valeur T est proportionnelle à la racine carrée du produit de la capacité par la self (1). Feddersen avait réalisé des périodes de l'ordre du millionième de seconde. Hertz perfectionna le dispositif en intercalant des plaques métalliques dans le circuit et en terminant les conducteurs par des boules, bien polies et de distance réglable à volonté ; la coupure ainsi opérée partageait l'appareil en deux moitiés symétriques qui étaient reliées respectivement aux bornes d'une bobine de Ruhmkorff. Par ce procédé, l'étincelle conservait une valeur constante de sa période, et celle-ci pouvait être abaissée à l'ordre du billionième de seconde. Nous venons de décrire ce qu'on a appelé l'*excitateur* de Hertz : c'était un centre de vibrations électriques, qui se propageaient dans le diélectrique ambiant : de ce centre partaient des courants de déplacement et des effets d'induction.

Comment a-t-on pu mettre ces effets en évidence ? Hertz se servit, comme appareil d'investigation, d'un cerceau de métal, constituant un circuit ouvert en un point : il faisait varier la grandeur de la coupure par

(1) La formule exacte est $T = 2\pi\sqrt{CL}$; il est nécessaire que la résistance R du circuit parcouru par le courant de décharge soit plus petite que $\sqrt{\frac{4L}{C}}$, sinon la décharge serait continue.

l'emploi d'une vis micrométrique, dont se trouvait munie une des extrémités du conducteur formant le cerceau. Dans son idée, empruntée à l'acoustique, c'était un résonateur. Quand un diapason vibre, ses vibrations se transmettent à l'air ambiant, et si un autre diapason d'accord avec le premier est amené dans le champ sonore, il entre à son tour en vibration. De même, l'excitateur développe une perturbation dans le champ électrique créé par lui et fait vibrer l'appareil voisin, si la période est la même (1). Il joue donc bien le rôle de résonateur.

« La solution du problème se présentait dès lors d'elle-même », s'écriait Hertz dans sa conférence. En effet, présentant le cerceau-résonateur à l'excitateur à deux mètres, à quatre mètres, voire même à vingt mètres et plus, à travers cloisons et murs en maçonnerie, on vit, dans l'obscurité, jaillir dans l'intervalle micrométrique une minuscule étincelle : elle dénotait par sa présence la propagation d'une action électrique depuis l'excitateur, qui la produit, jusqu'au détecteur qui la révèle à l'observateur. La géniale découverte était faite et Hertz pouvait entonner un triomphal ευρηκα.

Il devenait pour lors possible, il était même aisé de mesurer la vitesse de propagation de l'onde en empruntant à l'acoustique et à l'optique la méthode des ondes stationnaires (2). Elle est classique et n'exigera de nous qu'un rappel sommaire. Suivons dans sa progression une de nos perturbations périodiques, se propageant le

(1) Il faut pour cela que la valeur de $2\pi\sqrt{CL}$ pour le résonateur soit elle-même celle de l'excitateur.

(2) La considération de ces ondes est due au colonel du génie Savart, qui fit ses premières expériences dans les fossés des fortifications de Strasbourg, en se servant d'un pendule acoustique très sensible aux vibrations de l'air. Wiener a observé les ondes stationnaires produites par des ondes lumineuses dans des couches de bromure d'argent, à grain suffisamment petit, relativement à la longueur de l'onde.

long d'un fil ou le long d'un axe quelconque de longueur finie ; arrivée à son extrémité, qui lui barre le chemin, elle se réfléchit et revient en arrière, en croisant celles qui continuent de venir d'amont ; elle se compose et interfère avec elles. En certains points les perturbations d'aller et retour sont de même phase et elles s'ajoutent ; c'est qu'alors les courants alternatifs, dus aux deux perturbations, sont tous deux positifs ou négatifs en même temps ; elles se retranchent, là où elles présentent des phases contraires, c'est-à-dire lorsque les courants de l'une sont positifs au moment où ceux qui sont dus à l'autre sont négatifs.

Or, il est aisé de démontrer que pour les perturbations directe et réfléchie qui s'ajoutent, parce qu'elles sont de même phase, la différence de marche est d'un nombre entier de longueurs d'onde (1) : en ces points, l'action est maximum, et il se produit ce qu'on appelle un ventre. Au contraire, on constate l'existence d'un nœud, c'est-à-dire d'un point d'action nulle, quand la différence de marche est d'un nombre entier de demi-longueurs d'onde. Ventres et nœuds sont fixes, dans l'espace, d'où le nom d'ondes stationnaires ; de ventre à ventre et de nœud à nœud, on mesure une demi-longueur d'onde. De la distance de deux nœuds consécutifs, on déduit par conséquent la valeur du produit $\frac{1}{2}$ VT et finalement celle de V, si l'on peut calculer celle de T.

Or, l'existence d'un nœud était révélée à Hertz par

(1) On s'en rend compte également bien par la formule $w = a \sin\left(2\pi \frac{t}{T} + \delta\right)$ ou bien par le tracé des sinusoïdes correspondantes ; mais il faut tenir compte de ce que la réflexion se produit avec changement de signe contre un obstacle solide, tel que l'extrémité fermée d'un tuyau, un mur, ou encore le bout d'un fil ; $\delta = \frac{d}{\lambda} = \frac{d}{VT}$, d étant la différence de marche et λ la longueur d'onde, c'est-à-dire le chemin parcouru dans le temps T.

l'absence d'étincelles à son résonateur ; la formule de lord Kelvin lui faisait connaître T ; il put donc mesurer V. Il trouva, après quelques tâtonnements, une valeur voisine de la vitesse de la lumière, soit d'environ 300 000 kilomètres par seconde. Son expérience constituait par suite l'*experimentum crucis* de la théorie et en justifiait toutes les conclusions : nous signalerons rapidement les principales.

Ainsi que cela avait été annoncé, le rayonnement électrique se propage par ondes à travers le diélectrique et l'éther, à l'instar de la lumière, avec la même vitesse : l'admiration et la reconnaissance des savants leur ont donné le nom d'ondes hertziennes. Les phénomènes produits par elles sont entièrement comparables à ceux de la lumière : l'intensité varie en raison inverse du carré des distances ; en plaçant l'excitateur au foyer d'un miroir parabolique concave, on forme un faisceau parallèle de rayons, que l'on dirige où l'on veut ; sa trajectoire rectiligne est brisée par un réflecteur, constitué par un plan de matière conductrice, ou par un réfracteur, réalisé par un grand prisme d'asphalte ou d'autre substance isolante. La vibration a une direction constante et elle est par conséquent assimilable à celle de la lumière polarisée ; elle est transversale et perpendiculaire au plan de polarisation, ainsi que Maxwell l'avait dit. En faisant usage d'un réseau formé de fils métalliques tendus parallèlement, Hertz changeait à volonté l'orientation du plan de polarisation, ce qui lui a permis d'instituer des expériences variées, fournissant autant de points de contrôle. En somme, entre les ondes lumineuses et calorifiques et les ondes électriques, il n'y a que des différences de longueur ; alors que les premières ont un λ de quelques dixièmes de micron, celui des ondes de Hertz se mesure, à partir de 3000 microns, en mil-

limètres, mètres et kilomètres (1). Bref : Hertz était en droit de proclamer que « l'identification de la lumière » et de l'électricité, que la science soupçonnait, que la » théorie prévoyait, est établie définitivement ; elle est » devenue perceptible à nos sens, intelligible à l'esprit ; » des hauteurs que nous avons atteintes, où se confon- » dent les deux ordres de phénomènes, notre regard » plonge dans les domaines de l'Optique et de l'Électri- » cité..... L'Optique n'est plus qu'un appendice de » l'Electricité » (2).

Voilà le résultat majeur de la théorie de l'électricité-accident, de l'électricité considérée comme une manière d'être, le résultat direct bâti sur le roc granitique d'une expérience indiscutable, confirmé par une invention sensationnelle, inattendue, merveilleuse, qui suffirait à elle seule pour illustrer une théorie et une école, la télégraphie sans fil !

La philosophie naturelle est redevable à Faraday, Maxwell et Hertz d'un progrès dont la portée a été immense : Hertz l'a caractérisé avec optimisme, sans doute, mais non sans quelque vérité, dans sa conférence de Heidelberg. En « ramenant la question de la » nature de l'électricité à la question de l'état des forces » dans « l'espace », a-t-il dit, la science nouvelle a con- » tribué à la solution de cet autre problème, le plus » important de tous, celui de la nature et des propriétés » de la substance qui remplit l'espace, de l'éther, de sa » structure, de ses mouvements, de ses limites, s'il en

(1) La grandeur de la longueur d'onde hertzienne a été un obstacle aux premières expériences, car, en vertu du principe de similitude, il fallait multiplier dans la proportion des λ les dimensions linéaires des appareils : ainsi, pour l'onde fournie par l'excitateur primitif de Hertz (6 mètres), il eût fallu un miroir d'un myriamètre carré pour jouer le rôle en lumière d'un miroir d'un millimètre carré.

(2) Maxwell avait encore déduit de sa théorie que les ondes lumineuses exercent sur la surface qu'elles frappent normalement une pression dont il a calculé la valeur : celle-ci a été vérifiée et les résultats de l'expérience concordent remarquablement avec ceux du calcul.

» possède. Nous voyons de plus en plus cette question » dominer toutes les autres : il semble que la connais- » sance de l'éther ne doive pas seulement nous révéler » l'état de la substance impondérable, mais nous dévoi- » ler l'essence de la matière elle-même et de ses pro- » priétés inhérentes, la pesanteur et l'inertie..... Les » antiques systèmes de physique se résumaient à pro- » clamer que tout est formé d'eau et de feu : bientôt la » physique moderne se demandera si toutes les choses » existantes ne sont pas des modalités de l'éther. C'est » là la fin dernière de notre savoir » (1).

La théorie de Maxwell atteignait son apogée à l'époque où son illustre continuateur prononçait ces paroles enthousiastes ; les six fameuses équations, auxquelles elle avait conduit, semblaient avoir épuisé le sujet et résolu le problème purement spéculatif ; d'autre part, il était établi et mis hors de toute contestation, que la lumière consistait dans une perturbation électromagnétique en propagation dans le diélectrique. La plupart des physiciens étaient au diapason de Hertz ; Chwolson a écrit que dès lors « il était permis d'espérer » que le côté purement mécanique des déformations et » perturbations dans l'éther, où devait se trouver la » nature réelle, inaccessible à l'observation directe des » phénomènes électriques et magnétiques, serait rapide- » ment connu dans toutes ses particularités et que ces » déformations et perturbations prendraient leur place » dans tous les chapitres de la physique où l'on étudie » les manifestations de l'énergie électrique ».

Au témoignage de l'érudit professeur de Pétrograde, ces espérances étaient fondées... en 1889 : malheureusement, en 1910, il faisait suivre les lignes qui

(1) Hertz, *loc. cit.*, p. 518. Il y aurait lieu de formuler ici une réserve relativement à l'éther sans limites, dont le savant admet la possibilité.

précèdent de l'aveu découragé que voici : « ces espé-
» rances ne se sont pas réalisées ! » (1)

C'est qu'en effet les glorieux pronostics ne s'étaient point effectués et la thèse de l'électricité accidentelle n'avait pas donné ce qu'on en avait attendu.

Quelques-uns en font remonter la responsabilité au maître anglais dont l'œuvre « ne forme pas un seul
» ensemble d'idées ; il donne plusieurs théories se
» rapportant au même sujet, puis il les abandonne
» successivement, de sorte qu'on y trouve plutôt un
» mélange de théories qu'une théorie unique » : on lui a reproché de n'avoir fait que juxtaposer ces théories, sans réussir à les marier : on a dit de lui, ce qu'on avait dit de celui à qui nous avons emprunté la citation précédente, qu'il s'était montré « plus conquérant que colonisateur ».

Ces jugements. dont nous nous sommes faits l'écho, ne sont pas injustifiés, mais ne sont-ils pas des clichés, que l'on reproduit, sans plus les discuter ? Ne devrait-on pas se demander si les concepts, que Maxwell n'a sans doute pas soudés suffisamment entre eux, pouvaient l'être d'une manière satisfaisante ? N'a-t-il point subi une inéluctable nécessité en maintenant « des divisions profondes » entre les diverses parties de sa théorie, et en y formant, ainsi qu'on le répète toujours, « des compartiments séparés et sans communication » ? En d'autres termes, qui fallait-il accuser d'incohérence, l'auteur des théories ou ces théories elles-mêmes ?

Ceux qui ont accusé Maxwell de n'avoir pas fait mieux, n'ont guère eu plus de succès que lui : c'est donc qu'il était impossible de tirer meilleur parti des éléments dont il disposait. Pour représenter mécaniquement les déformations de l'éther que l'on faisait

(1) Chwolson, *Traité de physique* t. IV, 1er fasc., p. 9.

intervenir, il fallait lui prêter des propriétés complexes, souvent étranges, quelquefois même contradictoires. La faute n'en était pas à Maxwell, mais aux matériaux mis en œuvre.

On se prit donc légitimement à discuter la qualité de ces matériaux.

Et l'on constata que la thèse de l'électricité-accident était incapable d'expliquer un certain nombre de phénomènes de rayonnement et de transport d'ondes. Maxwell nous avait fait assister à la genèse de leur formation et nous les suivions dans l'éther ; mais nous perdions leur trace au moment où la matière les absorbe : que devenaient-elles alors ? On ne voyait pas non plus pourquoi les ondes se propagent autrement dans les milieux matériels que dans le vide, ni pourquoi, dans un même milieu, la vitesse de leur propagation dépend de la nature de la perturbation, et spécialement de la fréquence de l'onde périodique. La théorie ne fournissait qu'une clarté douteuse relativement aux phénomènes de dispersion ; elle ne rendait pas compte des lois de la propagation des ondes dans les corps en mouvement. On constatait une relation entre l'opacité des corps pour la lumière et leur conductibilité électrique. Les métaux conducteurs sont opaques ; le sélénium qui est isolant, quand il est transparent, devient opaque, lorsque le recuit l'a rendu conducteur : cela résulte évidemment d'un lien unissant l'éther à la matière ; mais ce lien ne trouvait pas son expression dans les équations. Les phénomènes de l'électrostatique ne laissaient pas que de soulever aussi des mystères insondés. Nous voyons bien comment les lignes de force partent d'un conducteur positif et aboutissent à une surface électrisée négativement, mais cette manière d'envisager les choses ne donne aucune idée de la façon dont ces lignes s'attachent à la matière en conservant leur mobilité. En électrocinétique, nous

avons vu, avec Poynting, le flux d'énergie circuler dans le vide et dans l'isolant qui entoure le fil conducteur du courant, sans découvrir comment ce flux pénètre dans le conducteur pour s'y manifester par des énergies de diverses formes et finir en chaleur de Joule, qui en est la forme la moins noble.

Ces échecs n'étaient pas les seuls que la théorie avait subis.

Le plus grave était celui-ci. Malgré tous les efforts d'un demi-siècle d'études, les actions chimiques des courants, si bien analysées et codifiées par Faraday, se refusaient à entrer dans le cadre général de sa théorie, et restaient réfractaires au concept de l'électricité-accident, alors qu'elles s'adaptaient si directement et si simplement à celui de l'électricité-substance. En effet, prenons de nouveau pour exemple le composé NaCl, chlorure de sodium, dissocié par sa dissolution dans l'eau ; les quantités égales d'électricité positive, portée par l'ion Na, et négative, liée à l'ion Cl, se comprenaient bien dans l'hypothèse du *substratum* matériel, mais répondaient mal à l'idée d'une quantité fictive, résultant d'une condition de l'éther localisée en ces ions. A un moment donné, les charges abandonnent les atomes Na et Cl et se dirigent vers l'électrode qui les attire ; dans le passage de l'atome à l'électrode, la charge est sans support ; cela ne se comprend pas d'une manière d'être. C'est la charge des ions qui les met en marche vers l'électrode d'électrisation contraire ; on invoquera ici une déformation du milieu liquide diélectrique, pour ne pas en appeler à l'action à distance répudiée par l'école ; mais on n'évite pas le concept de charges individuelles, déterminées, attachées aux flancs des atomes matériels. Enfin et surtout, d'après la seconde loi de Faraday, tous les atomes monovalents possèdent, en valeur absolue, une charge égale à celle des atomes précités

du sodium et du chlore, les atomes bivalents une charge double, les polyvalents la charge unitaire multipliée par un nombre entier ; l'analogie est évidente avec la loi des proportions multiples de Dalton en chimie ; or, la loi chimique a conduit au concept d'un atome matériel ; la loi électrolytique suggère de même l'atome d'électricité. La charge correspondant à chaque valence est une quantité invariable, indivisible comme l'atome lui-même, une constante universelle.

Voici d'autres difficultés ; je ne ferai que les signaler et les livrer aux méditations du lecteur. La chaleur ne se conserve pas, mais l'électricité se conserve. De nombreux phénomènes, en particulier la conductibilité unipolaire découverte par Erman, en 1815, révèlent une dissymétrie qui ne correspond pas à l'hypothèse de la manière d'être. Etc.

Ces objections ramenaient invinciblement les esprits vers l'idée de l'électricité-substance. Cette conséquence avait été entrevue par Maxwell, car nous lisons, à la page 434 du Tome II de son *Traité*, que la quantité dont sont chargés les anions et les cations est une *charge moléculaire :* de là à l'idée de la molécule d'électricité, il n'y avait pas loin (1). En 1881, Helmholtz développait la pensée : « Si nous acceptons » l'hypothèse que les corps simples sont composés » d'atomes, nous sommes tenus d'admettre pareille- » ment que l'électricité positive ou négative est com- » posée de parties élémentaires, qui se comportent » comme des atomes d'électricité ». Et Lodge avait souligné cette considération en parlant « d'une unité » naturelle, appelée avec raison atome d'électricité, » telle qu'en dessous d'elle nous ne connaissons

(1) Il est vrai que Maxwell revenait, quelques pages plus loin, sur cette concession, attendu que l'hypothèse des charges moléculaires lui semblait, en somme, « extrêmement improbable » ; c'était en 1873.

» rien » (1) ; en effet, on ne rencontre pas de quantités d'électricité plus petites que cette dernière parcelle de matière.

Les électriciens faisaient donc derechef de l'électricité une chose, une substance, possédant une existence propre ; non pas assurément qu'ils revinssent simplement aux deux fluides de Symmer, mais ils matérialisaient de nouveau cet agent, dans lequel ils n'avaient plus voulu trouver naguère qu'une condition, et une manière d'être. On reprenait des idées, mises au rebut peu de temps auparavant, ce qui provoquait de la part d'Henri Poincaré la spirituelle boutade que voici : « il » y a quinze ans à peine, il n'y avait rien de plus » ridicule, de plus naïvement vieux jeu que les fluides » de Coulomb, et pourtant les voilà qui reparaissent » sous le nom d'électrons » (2). Ils reparaissaient sous un nom et sous un vêtement différents, mais c'étaient bien eux, on ne pouvait s'y tromper. Ils reparaissaient, parce qu'on avait besoin d'eux : la discipline intellectuelle, conçue en dehors d'eux, avait été trop incohérente en quelques-uns de ses chapitres pour s'imposer à la science ; en d'autres, elle avait été tellement artificielle dans son ingéniosité, en plusieurs, elle s'était montrée si impuissante et si nettement incorrecte qu'on s'en était lassé et qu'il avait fallu s'en séparer. La considération d'une substance électrique venait sauver une situation perdue. Nous avons constaté ci-dessus avec étonnement que la théorie matérielle ait témoigné d'une si grande force de résistance contre les thèses nouvelles ; elle la devait non seulement aux facilités d'exposition qu'elle possédait, mais plus encore à la

(1) Lodge, *Modern Views on Electricity ;* cité par M. Drumaux, dans la *Théorie corpusculaire de l'Electricité* (Paris, Gauthier-Villars, 1911), p. 10.

(2) H. Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, p. 194. C'est M. Johnstone Stoney qui a donné en 1874, le nom d'*Electron* à l'atome d'électricité, que lord Kelvin eût voulu appeler l'*Electrion*.

part de vérité qu'elle contenait : les théories qui expriment quelque chose de réel ont la vie dure : elles ne meurent pas tout entières.

Cette part de vérité latente ne tarda pas, du reste, à être mise en complète évidence à la suite de découvertes extraordinaires, qui ont révélé un grand nombre de choses ignorées et ont ainsi exercé une influence considérable sur l'évolution des idées que nous venons de retracer. Un exposé rapide de l'ensemble de ces constatations, inexplicables dans l'hypothèse de l'électricité accidentelle, achèvera de démontrer que celle-ci devait nécessairement être abandonnée.

L'étude expérimentale des décharges dans les tubes à gaz raréfié, qui devait tant contribuer à l'étude des courants, a débuté par l'œuf de de la Rive, qui permettait de suivre les modifications de l'étincelle accompagnant le progrès du vide ; en 1855, Gassiot et Plücker imaginèrent les tubes, auxquels Geissler, l'habile souffleur de verre de l'Université de Bonn, a donné son nom, et l'on admira les belles couleurs des gerbes de feu jaillissant de l'électrode positive (de l'anode), les lueurs violacées entourant l'électrode négative (la cathode), et les stratifications étagées dans l'intervalle ; on en était alors tout au plaisir des yeux. Mais, en 1869, Hittorf appliqua ces tubes aux observations spectroscopiques et il appela l'attention des physiciens sur la région sombre voisine de la cathode (1). Le vide ne dépassait guère jusqu'alors 2 à 3 millimètres de mercure ; en le portant au millième de millimètre, Crookes mit en évidence, avec un rare bonheur, les rayons émanés de la cathode (les *rayons cathodiques*) qui surgissent normalement de la surface

(1) On confond quelquefois à tort la région sombre de Hittorf, intercalée entre les couches cathodiques violacées, avec l'espace noir de Faraday qui leur succède et précède les strates : pour Crookes, cet espace mesurait le chemin moyen libre des particules gazeuses projetées en avant de la cathode.

de leur électrode, marchent droit devant eux dans le tube, quelle que soit la position de l'anode, et développent dans la paroi de verre qu'ils frappent, une fluorescence vert-jaunâtre, qui fut à peine remarquée. Les tubes de Crookes provoquèrent vivement l'attention des physiciens, et ils la méritaient ; on croyait analyser des phénomènes lumineux, mais en réalité cette coupure, pratiquée dans le circuit, permettait de faire l'anatomie du courant électrique. La considération, reprise de Faraday, d'un quatrième état de la matière, appelé par lui *l'état radiant*, et la théorie ingénieuse du bombardement moléculaire de Crookes rendirent compte de plusieurs particularités des phénomènes, mais on ne trouva aucune explication du fait, découvert peu de temps après, plus remarquable qu'on ne le crut d'abord, de la déviation des rayons cathodiques par les champs magnétique et électrique dans des conditions entièrement indépendantes de la nature du gaz et de celle de la cathode. Ces rayons cathodiques constituaient l'élément principal du phénomène, avec les rayons anodiques *(die Kanal-strahlen)* que Goldstein découvrit en perçant des trous dans la cathode et en cherchant ce qui se passait derrière elle ; ils devinrent l'objet d'intéressantes observations de J. J. Thomson, J. Perrin, Wien, Lenard, Kaufmann, Villard, etc., de 1883 à 1900 ; Lenard trouva le moyen de faire sortir les rayons cathodiques de leur prison de verre par une fenêtre, fermée par une lamelle d'aluminium. Lenard et Perrin découvrirent ensuite que ces rayons chargent négativement les conducteurs qu'ils rencontrent sur leur chemin, et réduisent une lame de cuivre superficiellement oxydée. Les physiciens s'efforçaient en vain de faire correspondre ces effets inattendus avec les images qu'ils se formaient alors des phénomènes électriques.

En 1895, Röntgen eut la main particulièrement

heureuse, et il fut singulièrement favorisé par la fortune en découvrant l'action exercée par les rayons émanés de l'anticathode vert-jaunâtre des tubes de Crookes, sur un cadre recouvert de platino-cyanure de baryum, à travers une enveloppe de papier noir entièrement imperméable à toutes les radiations lumineuses et actiniques du spectre. C'étaient les rayons X, capables d'impressionner les plaques photographiques à travers les corps les moins diaphanes, rayons inflexiblement rectilignes ne connaissant ni réflexion, ni réfraction, ni polarisation, indéviables à l'aimant, possédant eux aussi la propriété de décharger les corps, radiations ne rentrant dans aucune catégorie connue. Le voile mystérieux qui recouvrait tous ces phénomènes s'épaississait de plus en plus, et pourtant on n'en était encore qu'aux premières surprises.

H. Becquerel se demanda un jour si les corps phosphorescents émettaient des rayons X, et il découvrit que les sels d'uranium et ce métal lui-même en fournissaient continûment : ce qui amena les Curie, Debierne et les autres à reconnaître les propriétés du thorium, du polonium, du radium, de l'actinium, et en général la *radioactivité*, qui consiste dans l'émission par ces métaux, en même temps que de certaines émanations, de rayons de même nature que les cathodiques, les anodiques et les rayons X.

Vinrent alors les actions magnéto-optiques de nouvelle espèce, déterminées par les champs magnétiques intenses sur la flamme d'un brûleur Bunsen monochromatique, observées par le hollandais Zeeman ; les raies spectrales caractéristiques des vapeurs métalliques se décomposent en doublets et triplets, polarisés rectilignement ou circulairement dans des conditions complexes, dont la sagacité et la patience des chercheurs ont eu rapidement raison, mais qui défiaient toute explication par les théories admises jusque-là.

Les rayons X ne jouissent pas seuls de la faculté de décharger les conducteurs électrisés : ils la partagent avec les rayons cathodiques et les radiations ultra-violettes, mais ces dernières n'agissent que sur des charges négatives, et leur influence est plus marquée pour certains métaux que pour d'autres. Une analyse judicieuse des faits a montré que ces effets peuvent être attribués à une certaine conductibilité acquise par l'air ambiant, qui se développe aussi au voisinage d'un corps incandescent, d'une flamme, d'un fragment de phosphore, etc. Mais cette conductibilité, à laquelle on a donné le nom significatif d'*ionisation*, pour des raisons que nous dirons plus loin, présente des caractères spéciaux, qui déroutent toutes les notions que l'on possédait relativement à la conduction. Ainsi la résistance d'une colonne de gaz n'est plus calculable par la loi d'Ohm et de Pouillet, et, contrairement à toute attente, elle diminue en certains cas lorsque sa longueur augmente ; M. Righi a même fait la découverte paradoxale que l'on peut faire perdre de la conductibilité à une tranche d'air comprise entre deux plateaux métalliques parallèles électrisés en signe contraire. Ces phénomènes et d'autres encore, qui seront décrits ultérieurement et étudiés par le détail, ne trouvaient pas de place dans le cadre du concept faradique maxwellien : on en fit la troublante constatation au seuil du XXe siècle, à l'époque même où le savoir et l'habileté des praticiens de l'électricité enfantaient des merveilles.

Remarquons qu'en ce même temps les idées atomistiques prenaient une place prépondérante en physique, au détriment du dynamisme ; la discontinuité de la matière et sa structure granulaire étaient un fait acquis, mais au lieu de considérer des éléments agissant les uns sur les autres, à distance, on les faisait se mouvoir et s'entre-choquer ; la théorie cinétique reprenait faveur, et toutes les dernières découvertes relatives

à la diffusion, à la conductibilité et au rayonnement consacraient son triomphe. Les théoriciens de l'électricité étaient menacés de perdre tout contact avec les autres sciences, s'ils ne renonçaient à l'hypothèse de l'électrisation manière d'être.

Il ne s'agissait pas de faire table rase du passé; des deux théories qui avaient successivement régné, on pouvait conserver ce que l'expérience avait confirmé ou du moins n'avait pas infirmé : de ce que l'on retenait, il fallait former une combinaison logique, en harmonie avec les plus récentes acquisitions de la science expérimentale. De l'ancienne théorie des fluides, on gardait la considération d'entité spéciale, d'une substance particulière, possédant une existence réelle, mais il fallait la faire discontinue et la doter d'une double individualité, correspondant aux deux signes. L'électricité est par conséquent un élément diversement figuré, qui réside en des points déterminés, et recouvre des surfaces: c'est une chose active, créant un champ autour d'elle, quand elle reste en repos, donnant lieu à des actions magnétiques, thermiques et autres, et produisant des effets d'induction, lorsqu'elle est en mouvement. Du second concept, celui de Faraday et de Maxwell, il fallait garder la notion d'une énergie résidant dans l'éther et dans les éléments pondérables du milieu, cause immédiate des actions au point où on les observe, agent unique des phénomènes qui traduisent les modifications qu'il subit dans son état ; ces modifications se manifestent par le rayonnement et interviennent dans la propagation des ondes électriques, lumineuses, calorifiques et autres, dont elles expliquent le mécanisme.

Lorsqu'on demandait autrefois aux tenants des fluides quel était l'effet d'une charge, isolée dans l'espace, tant qu'on n'y introduisait aucun corps susceptible d'être influencé par le champ, ils répondaient que cet effet était nul : sur quoi l'électricité aurait-elle

agi ? Pour Faraday, cette charge constituait un champ, en modifiant le milieu antérieurement à l'introduction du corps et indépendamment de sa présence. C'était bien ainsi qu'il fallait envisager les choses, mais sous réserve de ce qui suit : les premières théories ne considéraient que ce qui se passait dans les conducteurs et ne s'occupaient pas assez du milieu ; les secondes avaient le tort opposé de ne considérer que ce qui se passait dans l'éther et de faire de la surface du conducteur la limite de la région intéressée aux phénomènes ; il y avait là quelque chose à réformer.

La constante diélectrique et la perméabilité magnétique d'une substance ne sont plus des grandeurs qui la caractérisent spécifiquement, mais elles sont déterminées par les propriétés, la position et le mouvement des particules d'électricité qu'elle renferme.

On revenait aux idées émissionistes et aux hypothèses balistiques, aux effets de chocs et à toutes leurs conséquences dynamiques et autres.

En somme, le grain d'électricité s'introduisait dans la théorie de Maxwell, en vertu d'un compromis, et il la fécondait à la façon d'un germe que l'on dépose dans une terre fertile, et qui y fait lever une brillante moisson.

C'est ce dont nous allons être témoins.

(A suivre).

A. Witz,
Correspondant de l'Institut.

La rigidité de la Terre d'après des expériences récentes

Pour le géomètre, un solide est un ensemble de points matériels dont les distances mutuelles sont invariables. D'un pareil ensemble de points matériels le physicien dirait qu'il constitue un solide parfaitement rigide. — La Terre peut-elle être, dans son ensemble, considérée comme un solide parfaitement rigide ? Sous les forces qui la sollicitent, les points matériels dont elle est formée gardent-ils invariables leurs distances mutuelles ? Nous savons que les roches voisines de sa surface, susceptibles, par exemple, d'être comprimées, ne vérifient pas cette condition ; mais ces roches ne constituent qu'une pellicule de notre globe, et leur déformabilité, dans l'ensemble de celui-ci, pourrait être inappréciable.

Pour répondre à ces questions, nous devons d'abord préciser la notion de rigidité d'un solide élastique au point de l'exprimer par un nombre propre à la nature du solide considéré. Nous montrerons ensuite comment l'observation décèle une certaine élasticité de notre planète, et permet, en première approximation, la mesure de sa rigidité. Enfin, nous décrirons des expériences récentes qui fournissent, de cette rigidité, la meilleure évaluation que l'on possède actuellement.

I. LA RIGIDITÉ D'UN SOLIDE ÉLASTIQUE

Le solide élastique considéré ici est, par hypothèse, homogène et isotrope : homogène, c'est-à-dire que ses particules se répartissent de la même manière autour de tous ses points ; isotrope, c'est-à-dire que ses particules se répartissent de la même manière dans toute direction autour de chacun de ses points. Attribuons cette homogénéité et cette isotropie à une barre cylindrique d'acier coulé, et soumettons la à l'expérience.

Aux extrémités de cette barre, appliquons, par exemple au moyen de barreaux transversaux, à la manière de manivelles, des couples de forces agissant dans des sens opposés : ces forces tendent à faire tourner les sections extrêmes l'une dans un sens, l'autre dans l'autre sens, et à tordre la barre autour de son axe. Un nouvel équilibre s'établit dans lequel cette tendance à la torsion est satisfaite jusqu'à réaction suffisante des forces intérieures dont elle a provoqué la naissance. Mesurons cette torsion par la variation de l'angle des deux barreaux transversaux ; divisant cet angle par la longueur de la barre, nous aurons la torsion par unité de longueur.

Or, cette torsion par unité de longueur est proportionnelle au moment de chacun des couples qui la causent ; d'autre part, pour qu'elle devienne, par exemple, neuf fois moindre, il suffit que l'aire de la section de la barre devienne trois fois plus grande. On peut donc, du moins théoriquement, définir de la manière suivante un nombre qui sera propre, les unités étant choisies, à la matière dont la barre est constituée : il exprimerait le moment du couple qu'il faudrait appliquer à chacune des extrémités d'une barre de section *un* pour que la torsion par unité de longueur fût égale à quatre droits. Pour éviter des torsions qui,

avec nos unités habituelles, seraient invraisemblables, nous dirons plutôt, par exemple : ce nombre vaut dix mille fois celui qui exprime le moment du couple qu'il faut appliquer à chacune des extrémités d'une barre de section *un* pour que la torsion par unité de surface soit égale à un dix-millième de tour complet. C'est le *coefficient de rigidité* (1).

Par exemple, le coefficient de rigidité de l'acier est 800 000 kg par cm². Physiquement, ceci signifie qu'à chaque extrémité d'une barre d'acier d'un centimètre carré de section, c'est un couple dont le moment s'exprime par 800 000 : 10 000 = 80, dans le système d'unités centimètre-kilogramme, qu'il faut appliquer pour que la torsion par centimètre soit *un dix-millième* de tour complet, ou 0,04 grade. On réalisera ce couple, par exemple, au moyen de deux forces de 8 kg, agissant dans des sens contraires suivant des parallèles distantes de 10 cm. Cette barre serait, sur un mètre de longueur, tordue de quatre grades (2).

(1) Le moment du couple appliqué à chacune des extrémités d'une barre cylindrique est proportionnel à la fraction de tour complet dont la barre est tordue, au carré de la section et à l'inverse de la longueur de la barre. Le coefficient de rigidité est le coefficient de proportionnalité de cette formule. Dans une expérience où l'on réaliserait une torsion égale à un tour complet, il vaudrait donc le produit du moment de torsion par la longueur de la barre, divisé par le carré de la section. C'est ainsi que ses dimensions sont celles d'une force par unité de surface, et qu'il va être exprimé, ici, en kilogrammes par centimètre carré.

(2) Le seul coefficient de rigidité ne suffit pas à l'étude des petites déformations d'un solide élastique homogène et isotrope. L'établissement des équations qui président à cette étude exige la connaissance de *deux constantes élastiques* indépendantes.

Pour déterminer deux coefficients distincts, nous devons provoquer deux déformations du solide homogène et isotrope : par exemple, d'une part le rapprochement de ses particules, d'autre part leur écartement ; mesurer, chaque fois, les déformations et les efforts qui les causent ; substituer ces mesures dans les équations de l'équilibre élastique qui ne renfermeront plus d'autres inconnues que les coefficients cherchés. — Une même expérience peut provoquer à la fois les deux phénomènes : une barre étirée a ses particules qui s'écartent le long de toute fibre longitudinale et qui se rapprochent dans tout plan transversal.

L'allongement de la barre est proportionnel à sa longueur primitive et,

II. L'ÉLASTICITÉ DE LA TERRE DÉCELÉE PAR LE DÉPLACEMENT DES PÔLES

Quel que soit le mouvement d'un solide indéformable autour d'un point fixe, les vitesses des différents points de ce solide sont les mêmes à chaque instant que si ce solide tournait autour d'une certaine droite, propre à cet instant. Cette droite, généralement mobile à la fois dans l'espace et par rapport au solide, est l'*axe instantané de rotation* de celui-ci. — Si, sur une table plane, on fait pivoter un œuf sur sa pointe, l'axe de rotation, d'abord vertical, s'incline, s'affecte d'un mouvement

pour une déformation petite, l'allongement par unité de longueur est proportionnel au poids tenseur appliqué par unité de section. C'est donc, pour chaque métal, un nombre constant qui exprimerait combien de kilogrammes il faudrait appliquer par centimètre carré de section pour que la longueur de la barre vînt à doubler ; ou, pour rester dans l'hypothèse des déformations petites, sous le nom de *module d'élasticité* définissons un nombre, propre à chaque substance, égal à *mille fois* le nombre de kilogrammes qu'il faut appliquer par centimètre carré de section de la barre pour que celle-ci s'allonge d'*un millième*. — Un barreau prismatique d'acier a une longueur de 40 cm, une section de 2 cm², et l'application d'une traction équivalente à 10 000 kg a provoqué un allongement de 0,1 cm. L'allongement relatif est 0,0025, la traction par unité de section est 5000 kg, et le module d'élasticité de l'acier est 5000 : 0,0025 = 2 000 000 kg par cm².

D'autre part la contraction transversale du barreau a réduit chacun des côtés de la section dans un même rapport proportionnel à l'allongement par unité de longueur. En d'autres termes, l'allongement relatif et la contraction transversale relative sont dans un rapport constant. Un côté de 2 cm, par exemple, du barreau s'est contracté de 0,00125 cm ; la contraction relative est de 0,000 625, et le rapport qui vient d'être défini est égal à 4.

Le module d'élasticité et le rapport des déformations relatives peuvent jouer le rôle des constantes élastiques qui caractérisent le solide homogène et isotrope. Mais l'une de ces deux grandeurs peut être remplacée, dans ce rôle, par toute quantité qui s'exprime au moyen de l'une et de l'autre. Tel est le cas du coefficient de rigidité : si nous représentons celui-ci par μ, le module d'élasticité par E et le rapport des déformations relatives par m, le premier s'exprime au moyen des deux autres par la formule

$$\mu = \frac{E}{2} \cdot \frac{m}{m+1}.$$

A l'approximation dont se contentent les ingénieurs, voici, pour quelques substances considérées comme homogènes et isotropes, les constantes E, μ

compliqué, pour redevenir vertical à l'instant où l'œuf, couché sur le flanc, va cesser de tourner. En même temps cet axe s'est déplacé dans l'œuf, passant de l'axe de celui-ci à une droite perpendiculaire. D'autre part, le mouvement le plus général d'un solide indéformable peut se décomposer dans le mouvement de translation de son centre de gravité et dans un mouvement autour de celui-ci considéré comme fixe.

Appliquons ceci à la Terre, et étudions sa rotation autour de son centre de gravité, par rapport à l'ensemble des étoiles. — Si l'axe terrestre de rotation est mobile à l'intérieur de la Terre, la longitude et la latitude de tout point terrestre sont des grandeurs généralement variables. Or, les recueils des navigateurs, par exemple, renferment des tableaux dans lesquels, en regard de chacun de nombreux points du globe, on lit, sans restriction sur l'époque, les coordonnées géographiques de chacun d'eux. Concluons que, pour les besoins de la navigation (et de la géographie), l'axe terrestre peut être considéré comme fixe par rapport à la Terre.

et m, dont les deux premières sont exprimées en kilogrammes par centimètre carré (les nombres de la dernière colonne ont été *calculés* au moyen des nombres des deux colonnes précédentes) :

	E	μ	m
Acier	2 200 000	800 000	2,7
Cuivre	1 100 000	400 000	2,7
Laiton	640 000	240 000	3,0
Etain	400 000	150 000	3,0
Plomb	50 000	90 000	3,2
Verre	650 000	520 000	2,7

Nous rencontrerons aussi, dans une note ultérieure, la notion d'*incompressibilité* d'un solide. — Étirée, la barre d'acier a changé de volume : chacun de ses centimètres cubes s'est transformé dans 1,00125 cm³ : il y a eu dilatation : comprimée, elle aurait diminué de volume. Si le volume n'avait pas varié, nous aurions dit que la substance dont la barre est faite est incompressible. — Pour qu'une substance fût incompressible, il faudrait et suffirait que le rapport des déformations relatives d'un barreau fût égal à 2, et une substance est d'autant plus compressible que ce rapport est plus élevé.

Mais il faut y regarder de plus près et l'intervention des mathématiques devient nécessaire. Qu'un mathématicien étudie donc la rotation d'un solide autour d'un point fixe, et nous appliquerons ses résultats à la rotation de la Terre autour de son centre de gravité. — Sous le nom de *moments principaux d'inertie*, A, B, C, trois nombres se définissent, dont la connaissance suffit à caractériser le corps tournant, dans la recherche de son mouvement, quelle que soit son hétérogénéité. Dans une Terre constituée de couches homogènes sphériques, ces trois nombres seraient égaux, et l'axe instantané de rotation garderait une direction invariable, par rapport à l'ensemble des étoiles aussi bien que par rapport au globe. Dans une Terre constituée de couches homogènes ellipsoïdales de révolution et aplaties, deux de ces nombres sont égaux, les deux moindres, par exemple

$$A = B, \quad A < C,$$

et l'axe instantané de rotation change de direction, d'une part par rapport à la Terre, d'autre part par rapport à l'ensemble des étoiles. Dans la Terre, il décrit un mince cône de révolution : la période t de ce mouvement est égale, en jours sidéraux, au rapport du moindre moment d'inertie à son déficit vis-à-vis du plus grand :

$$t = \frac{A}{C - A}.$$

Donc les pôles terrestres se déplacent, et, à cette approximation à laquelle nous nous arrêterons, la prévision de leur mouvement est liée au rapport des moments d'inertie.

Mais c'est ce rapport aussi qui règle le déplacement de l'axe terrestre dans l'ensemble des étoiles, et par conséquent le grand phénomène, bien observable, de

la *précession de l'équinoxe*. En effet, dans une Terre sphérique, l'axe de rotation serait immobile vis-à-vis de l'ensemble des étoiles, et la droite d'intersection de l'équateur et de l'écliptique, la ligne des équinoxes, serait invariable par rapport au même milieu. Dans une Terre ellipsoïdale aplatie, les attractions du Soleil et de la Lune ne passent plus par le centre de gravité, l'équateur s'incline sous cette action, et la ligne des équinoxes rétrograde dans l'écliptique, avec une vitesse d'autant plus grande que les deux moments d'inertie égaux sont moindres vis-à-vis du troisième. Ainsi, la vitesse de déplacement de l'équinoxe est liée au rapport des moments d'inertie : celle-là fait connaître celui-ci. Or, la précession de l'équinoxe rend variables les positions des étoiles par rapport à l'équateur, et de ces variations se déduit la vitesse de la précession : la vitesse angulaire de l'équinoxe dans l'écliptique est de 50″ par an. Le nombre que l'on en tire pour le rapport des moments d'inertie est tel que

$$\frac{A}{C - A} = 305.$$

Dans une Terre indéformable, ellipsoïdale de révolution, l'axe instantané de rotation accomplirait donc son petit mouvement conique en 305 jours sidéraux, ou, en nombre rond, 10 mois : au bout de chaque dixième mois, les petites corrections dont nous devons, à l'approximation actuelle, affecter les latitudes géographiques, repasseraient par zéro.

Pendant le XIXe siècle, les instruments se sont perfectionnés jusqu'à permettre aux astronomes d'écrire le centième de seconde dans leurs déterminations de latitudes. Ceci ne permet-il pas de déceler, par les latitudes de différents points terrestres, la période de dix mois déduite par les mathématiciens de la précession de l'équinoxe ? Dès 1850, la latitude de quelques

observatoires avait été reconnue variable. Les déterminations de la latitude furent systématisées vers 1890, et on reconnut bientôt que c'est vraiment à un déplacement du pôle qu'il faut attribuer la plus grande part de ces variations (1).

En 1891, l'astronome américain Chandler pouvait déjà réunir assez d'observations pour tenter de débrouiller la courbe décrite par le pôle à la surface de la Terre (2) ; il réussissait à montrer que l'oscillation polaire résulte de la superposition de deux oscillations : l'une dont la période est de douze mois, l'autre dont la période est de quatorze mois environ. Fréquemment retouchée depuis, cette deuxième période ne s'est jamais beaucoup écartée de quatorze mois, et ce renseignement nous suffira. — En 1892, l'Association géodésique internationale organisait un *Service des Latitudes,* avec six stations distribuées sur le parallèle de 39° nord, complétées ensuite par deux stations sur le parallèle de 32° sud (3) Ces recherches n'ont pu que préciser, sans y rien changer d'essentiel, les résultats de Chandler.

On cherchait à reconnaître une période de dix mois : on en trouve deux, l'une de douze, l'autre de quatorze. — La première, qui se confond avec le cycle des saisons, peut s'expliquer par les phénomènes météorologiques que celles-ci ramènent, comme les modifications atmosphériques et l'accumulation des glaces dans le voisinage d'un pôle en même temps que leur fonte partielle dans le voisinage de l'autre. — Mais comment expliquer la substitution des quatorze mois trouvés aux

(1) Pour l'histoire de ces recherches, voir E. Pasquier, *Sur les variations de la latitude et les déviations de la verticale,* dans les ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, tome XXXVI, — et H. Janne, *Sur la variation des latitudes,* dans les MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DES SCIENCES DE LIÉGE, 3me série, tome VIII, et tiré à part, Bruxelles, 1909.

(2) S. C. Chandler, *On the Variation of Latitude,* dans l'ASTRONOMICAL JOURNAL, t. XI (1891), n° 8 et suivants.

(3) Pour l'organisation de ce service et ses résultats, consulter le mémoire de E. Pasquier signalé ci-dessus.

dix mois attendus ? La réponse n'a pas tardé, et nous la devons à Newcomb (1) : « Vous cherchez une période de dix mois, mais comment l'avez-vous calculée ? En attribuant à la Terre une rigidité parfaite. Supposez que la Terre, comme tous les solides que nous connaissons, cède dans une certaine mesure aux forces qui lui sont appliquées : ce n'est plus une période de dix mois que donneront vos calculs. Sera-t-elle augmentée ou diminuée ? Elle sera augmentée, car chaque tendance à un déplacement de l'axe instantané fait naître, sous l'action de la force centrifuge, une déformation de la Terre qui tend à garder à celle-ci sa forme de révolution autour de l'axe de rotation mobile. Cet axe est ralenti, et la période de son mouvement conique est d'autant plus allongée que la Terre est moins rigide ».

Ainsi, cet énigmatique excès de quatre mois est lié à la rigidité de la Terre, et si celle-ci pouvait être considérée comme homogène et isotrope, voilà le moyen de calculer le coefficient de rigidité de la substance qui la constituerait. — Mais la Terre est-elle homogène, ou peut-elle être, ne fût-ce qu'en première approximation, considérée comme telle ? Non, car la géologie place entre 2,5 et 3,0 la valeur la plus satisfaisante de la densité moyenne des couches superficielles (2), tandis

(1) S. Newcomb, *On the periodic Variation of Latitude, and the Observations with the Washington prime-vertical transit*, dans l'Astronomical Journal, t. XI (1891), n° 11, ainsi que, du même auteur, *On the Dynamics of the Earth's Rotation with respect to the periodic Variation of Latitude*, dans les Monthly Notices R. A. S., t. LII (1892), n° 5.

(2) Les grands plissements ont amené au-dessus du niveau actuel de la mer des couches dont l'ensemble représente une épaisseur considérable, estimée de 15 à 20 km. Les observations dans les régions plissées sont donc équivalentes à une exploration suivant la verticale, jusqu'à pareille profondeur. La densité moyenne de la lithosphère résulte du rapprochement du pourcentage des différentes roches qui la constituent et de la densité de chacune d'elles. La valeur la plus satisfaisante semble voisine de 2,7. Voir F. W. Clarke, *The Data of Geochemistry*, Washington, 4me édition, 1920.

que la mécanique céleste impose 5,5 à la densité du globe tout entier (1).

Dans la répartition des densités le long du rayon terrestre, une infinité d'hypothèses restent acceptables. Une hypothèse déterminée est définie par une relation algébrique entre la densité et, par exemple, la distance au centre de la Terre. A quelles données d'observation recourir pour le calcul des coefficients de cette relation algébrique ? Nous connaissons déjà le rôle de la géologie et de la mécanique céleste : voici que va intervenir la géodésie.

A toute association d'une répartition hypothétique des densités et d'une valeur proposée pour l'aplatissement terrestre (2), correspondent des valeurs numériques des moments d'inertie principaux de la Terre et, par conséquent, de la précession de l'équinoxe. Nous pouvons écrire une relation entre les coefficients de la loi des densités proposée, la mesure de l'aplatissement terrestre et la précession de l'équinoxe. Nous connaissons la grandeur de la précession. Demandons à la géodésie la valeur de l'aplatissement, et il nous restera une condition nouvelle à laquelle devront satisfaire les coefficients cherchés. Jusqu'il y a peu d'années, la géodésie répondait par le nombre de Clarke, 1 : 293,5, et aucune loi continue ne pouvait être écrite qui vérifiât toutes ces conditions. Déjà on invoquait une loi discontinue de la densité lorsque, récemment, les grandes opérations géodésiques de l'Amérique du Nord sont venues transformer le nombre de Clarke dans celui de Hayford,

(1) En quoi la mécanique céleste est d'accord avec la physique du globe. Les recherches les mieux conduites ont donné des valeurs de la densité moyenne comprises entre 5,49 et 5,56 ; les résultats les plus récents sont 5,527 et 5,505.

(2) L'aplatissement terrestre est mesuré par le rapport à l'axe équatorial de l'excès de celui-ci sur l'axe polaire. Par exemple, l'aplatissement exprimé par 1 : 300 signifie que l'axe polaire vaut l'axe équatorial diminué d'un trois-centième de celui-ci.

1 : 297, qui s'ajuste admirablement aux autres conditions imposées à la loi de distribution des densités (1).

Mais si la Terre n'est pas homogène, comment parler encore de son coefficient de rigidité, dès la définition duquel on a supposé l'homogénéité du solide élastique considéré ? — Aussi ne songeons-nous pas à nous occuper de la Terre hétérogène telle qu'elle est, et nous ne pouvons que signaler les recherches récentes sur une Terre hétérogène telle qu'elle pourrait être eu égard aux conditions énumérées ci-dessus (2). La rigidité que

(1) Travaux de R. Radau, H. Poincaré, V. Volterra, O. Callandreau, M. Hamy, A. Véronnet. Voir F. Tisserand, *Mécanique céleste*, t. II, chap. XV. — Il existe un certain nombre d'égalités et d'inégalités entre des quantités qui s'expriment au moyen de l'aplatissement terrestre, de la densité superficielle, de la densité moyenne, de la vitesse de précession de l'équinoxe et du rapport de la force centrifuge à l'attraction sur l'équateur. Ces quatre dernières grandeurs sont connues par l'observation ou l'expérience. Traitant l'aplatissement terrestre comme une inconnue, on peut donc lui assigner une limite inférieure et une limite supérieure. L'aplatissement de Clarke n'appartenait pas à cet intervalle, défini par des valeurs fort voisines de 1 : 297. Ce dernier nombre, retrouvé par les observations géodésiques de Hayford (1909), a été adopté par la Conférence internationale des Éphémérides astronomiques (Paris, 1911). D'après les calculs les plus récents, les limites de l'aplatissement terrestre seraient 1 : 297,39 et 1 : 297,10, et la valeur la plus satisfaisante serait 1 : 297,2 (A. Véronnet, Comptes Rendus Ac. Sc. Paris, 20 septembre 1920).

(2) Le physicien qui étudie la déformation petite d'un solide élastique écrit six équations dont les premiers membres sont les composantes de l'état de tension ou de compression du solide déformé, en tout point et dans toute direction, et dont chaque second membre est une somme de six termes. Les seconds membres renferment donc trente-six coefficients, dont vingt et un, démontre-t-on, sont distincts.

Ces vingt et un coefficients font partie des données du problème : ils dépendent de la nature du milieu autour du point considéré. — Ainsi l'étude de la déformation petite d'un solide, en un point de celui-ci, exige, dans le cas le plus général, la connaissance de vingt et une quantités. Mais si, dans ce même solide, et pour cette même déformation, on étudie les fatigues intérieures en un autre point, on aura à utiliser d'autres valeurs numériques de ces coefficients. En d'autres termes, les coefficients des équations ne sont pas des nombres valables pour le solide tout entier, mais des fonctions de la position du point considéré.

Cette trop grande généralité rend le problème presque inabordable ; aussi, dans chaque application cherche-t-on à se rapprocher d'un cas particulier accessible au calcul. Si le solide est homogène, les vingt et une fonctions se réduisent à vingt et une constantes. Si, de plus, le solide est isotrope, ces vingt et une constantes peuvent s'exprimer au moyen de seulement deux d'entre elles : ce sont, par exemple, les constantes que nous avons rencontrées sous les noms de module d'élasticité et de coefficient de rigidité.

l'on cherche est celle d'un corps solide homogène et isotrope ayant les dimensions de la Terre et qui, dans son ensemble, réagirait de la même manière que celle-ci aux forces qui lui sont appliquées : c'est la *rigidité efficace* de la Terre (1).

Dès lors le problème est bien déterminé : quel doit être le coefficient de rigidité efficace de la Terre pour que la période du mouvement de son axe instantané de rotation soit égale à quatorze mois ? — Ce n'est pas sur la recherche du coefficient de rigidité par cette méthode qu'on a l'intention d'insister ici ; cette recherche est purement mathématique (2) : elle conduit à un coefficient de rigidité voisin de celui de l'acier et d'environ 800 000 kg. par cm².

III. LA RIGIDITÉ DE LA TERRE MESURÉE PAR LES OSCILLATIONS D'UNE SURFACE LIQUIDE. EXPÉRIENCES RÉCENTES DE MICHELSON

La Terre est plongée dans un champ de forces variable de l'un à l'autre de ses points et d'instant en instant. Si le mouvement des corps voisins de la surface de la Terre est étudié par rapport à l'ensemble des étoiles, ce champ de forces peut être considéré comme la

(1) Cette grandeur est l'*effective rigidity* des auteurs anglais, que l'on traduit habituellement par *rigidité effective*, aussi erronément que l'on dit, entre autres circonstances analogues, température effective du Soleil pour la température du Soleil assimilé à un corps qui absorberait toutes les radiations.

(2) Voir H. Jaune, *Coup d'œil sur les méthodes employées pour déterminer la rigidité du globe*, dans les MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DES SCIENCES DE LIÉGE, 3me série, t. X, et tiré à part. Bruxelles, 1914.

En réalité, la connaissance de la période du mouvement de l'axe terrestre est insuffisante au calcul de la rigidité efficace de la Terre. En effet, cette connaissance permet d'écrire une équation dans laquelle se trouve bien le coefficient de rigidité, mais aussi l'autre constante élastique du solide homogène et isotrope, son module d'élasticité. Il faut donc faire une hypothèse équivalente à une relation supplémentaire entre ces deux constantes, par exemple, si grossière soit-elle, l'hypothèse de l'incompressibilité.

superposition du champ de forces dû à l'attraction de la Terre, de celui qui correspond à l'attraction du Soleil, de celui qui exprime l'attraction de la Lune, sans compter les attractions planétaires et stellaires, pratiquement négligeables. Si ce mouvement est étudié par rapport à la Terre elle-même, comme il est naturel de la part de ceux qui l'habitent, il faut y ajouter le champ des forces apparentes dues à la rotation de la Terre, le champ de la force centrifuge.

Les champs des attractions luni-solaires sont faibles vis-à-vis du champ de la pesanteur, résultant de celui de l'attraction terrestre et de celui de la force centrifuge. En première approximation, le champ terrestre varie donc d'un point à l'autre de la surface du globe, mais est, d'un instant à l'autre, constant en chaque point. A cette approximation, la surface libre d'une couche liquide recouvrant la Terre, entièrement ou partiellement à la manière des océans, se fixerait dans une invariable position d'équilibre, *surface de niveau* du champ terrestre : ce serait un ellipsoïde de révolution aplati.

D'une manière plus générale, et en vue du champ de deuxième approximation, rappelons qu'une surface de niveau d'un champ de forces est, par définition, en chacun de ses points et à chaque instant, perpendiculaire à la direction de la force : une surface de niveau terrestre est constamment perpendiculaire à la verticale de chacun de ses points, et il passe une surface de niveau distincte par chaque point d'une verticale. Parmi les surfaces de niveau, on donne le nom de *géoïde* à l'une quelconque d'entre elles choisie arbitrairement une fois pour toutes par un point qui lui appartienne, et au moyen de laquelle on se propose de repérer les autres, qui l'enveloppent ou dont elle est enveloppée. Si le champ luni-solaire était négligeable, on pourrait choisir le géoïde de manière qu'il coïncide avec la surface des mers.

L'introduction du champ luni-solaire rend variable le champ terrestre en chaque point : il varie avec les positions du Soleil et de la Lune et, à chacune des configurations de ces deux astres par rapport à la Terre, correspondent une position de chaque surface de niveau, une position du géoïde et, par conséquent, en chaque point, une direction de la verticale. Celle-ci oscille donc et ses oscillations peuvent être considérées comme la superposition de petites oscillations élémentaires dues les unes au Soleil, les autres à la Lune, et dont chacune est caractérisée par sa période. On y distingue principalement, pour chaque astre, une *onde semi-diurne* et une *onde diurne*, dues à la circulation de chaque astre autour de la Terre considérée comme immobile, puis, pour le Soleil, une *onde semi-annuelle* et, pour la Lune, une *onde semi-mensuelle*, dues respectivement à l'oscillation annuelle et mensuelle du Soleil et de la Lune par rapport à l'équateur.

Si la rigidité était nulle, la Terre céderait parfaitement à chaque instant aux forces qui la sollicitent ; elle s'adapterait sans cesse à une surface de niveau, et les variations de la verticale échapperaient au physicien : les points de repère au moyen desquels il l'étudie se déplaceraient avec elle ; si, au contraire, la Terre était indéformable, les déviations de la verticale s'observeraient dans toute leur amplitude.

La Terre ne possède qu'une certaine rigidité : elle cède partiellement aux efforts qui l'affectent. Les points de repère des physiciens témoigneront des oscillations de la verticale réduites dans un rapport d'autant moindre que la Terre est plus rigide. Il existe une relation au moyen de laquelle, connaissant le rapport des amplitudes observée et théorique, on peut calculer le coefficient de rigidité. Ce rapport égal à 0,7 témoignerait d'une rigidité efficace égale à celle de l'acier, à savoir 800 000 kg par cm², et un rapport égal à 0,5

rendrait la Terre comparable à un globe de laiton, dont le coefficient de rigidité est 240 000 kg par cm² (1). Or, les oscillations théoriques maxima, dans le cas d'une rigidité parfaite, peuvent se calculer. Que l'on parvienne à mesurer les oscillations apparentes, et leur rapport aux oscillations maxima livrera le coefficient de rigidité de la Terre (2).

L'appareil utilisé ne peut qu'être équivalent à un fil à plomb de très grande longueur : niveaux très sensibles observés par A. d'Abbadie dès 1837 : bain de mercure construit par le même physicien pour réfléchir les rayons émanés d'un point fixe ; long pendule à axe horizontal dont les oscillations sont amplifiées par les organes que lui adaptèrent lord Kelvin en 1878, G. et H. Darwin en 1879; pendule dit horizontal, dont l'axe est à très peu près vertical, installé par Hecker à Potsdam en 1907.

Quels furent les résultats de ces diverses recherches? Jusqu'au pendule horizontal, toutes ces tentatives ne mirent en évidence qu'une oscillation diurne qu'il

(1) La relation entre le coefficient de rigidité μ et le rapport r des amplitudes apparente et théorique est compliquée. Lorsqu'on la calcule d'une manière approchée, dans l'hypothèse où μ est voisin de 700 000, on trouve, en kilogrammes par centimètre carré,

$$\mu = 3\,700\,000\, r - 1\,840\,000\,;$$

l'approximation consiste à considérer (μ — 700 000) comme assez petit vis-à-vis de 700 000 pour que son carré soit négligeable vis-à-vis du carré de 700 000. A la même approximation, et au moyen des mêmes unités, mais dans l'hypothèse de μ voisin de 800 000, on trouve

$$\mu = 4\,550\,000\, r - 2\,440\,000.$$

(2) Une objection doit être prévue. — Le coefficient de rigidité de la Terre a déjà été mesuré par le déplacement du pôle ; or ce déplacement a été déduit des observations de latitudes : la latitude est l'obliquité de la verticale sur l'équateur, et les oscillations de la verticale ne sont pas entrées en ligne de compte. — Il est vrai que les variations de la latitude sont dues à la fois à l'oscilation de l'axe terrestre et à l'oscillation de la verticale. Mais celle-ci est petite vis-à-vis de celle-là, et a pu être négligée en première approximation. Ainsi, l'observation de la verticale permettra d'améliorer le coefficient de rigidité déduit du déplacement du pôle.

fallut attribuer à l'échauffement par le Soleil du sol environnant. Le pendule horizontal, au contraire, se montra suffisamment sensible. Deux appareils sont placés dans des plans perpendiculaires de manière à recueillir les composantes du déplacement de la verticale dans deux plans inclinés de 45° sur le méridien du lieu. Le résultat révèle une oscillation diurne due au rayonnement solaire ; mais, combinant les résultats des observations de manière à effacer la partie diurne du phénomène, on trouve encore un résidu manifestement lunaire semi-diurne. Son rapport à l'amplitude maximum théorique de l'onde lunaire semi-diurne fournit la solution du problème.

Encore faut-il que les diverses observations soient suffisamment compatibles, et les valeurs moyennes des rapports relatifs aux diverses orientations par rapport au méridien doivent-elles être comprises entre deux limites suffisamment voisines. Or, il n'en est pas ainsi : dans la direction est-ouest, ce rapport est égal à 0,64, voisin, il est vrai, de celui auquel correspond la rigidité de l'acier, comme le demandaient les variations de latitude ; mais, dans la direction nord-sud, ce rapport descend à 0,46, auquel correspond un coefficient de rigidité voisin de celui du laiton. La même anomalie se manifesta à Heidelberg et à Dorpat.

On eut vite fait d'attribuer à la Terre une rigidité plus grande, en chaque point, dans le sens du parallèle que dans le sens du méridien. Tout le monde cependant n'admit pas cette interprétation, au moins prématurée, et l'on chercha l'explication de cette discordance dans un champ de forces secondaire dû au bourrelet liquide poussé deux fois par jour par la marée contre le rivage relativement voisin.

A cette première raison d'inquiétude s'en ajoutent d'autres : nous n'avons donné que des résultats moyens, pour fixer les idées, mais, pour chaque direction, les

résultats partiels sont encore fort dispersés. — Aussi le grand physicien américain A. A. Michelson vient-il de reprendre la même étude par une méthode entièrement différente (1913-1919) et que nous rattacherons, pour la décrire, aux premières recherches, les infructueuses tentatives d'A. d'Abbadie.

A. d'Abbadie installait au fond d'un puits un bain de mercure, et s'en servait comme d'un miroir pour observer les oscillations de la verticale, constamment perpendiculaire à ce miroir. — Remplaçons le mercure par de l'eau et étendons la nappe liquide jusqu'à en faire un étang circulaire de 100 m. de rayon. Que le bord cylindrique de l'étang soit finement gradué par une série de circonférences parallèles, dans des sections horizontales du cylindre, et que des verniers et des microscopes y soient répartis, comme sur un cercle astronomique, pour l'observation du niveau du liquide. Au moins trois lectures faites au même instant fixent la position du plan liquide à cet instant et, par conséquent, la direction de la verticale.

Cette conception théorique n'est évidemment pas réalisable telle quelle : trop de causes perturbatrices viendraient fausser les résultats (1). Mais l'étang circulaire peut se réduire à deux canaux diamétraux

(1) C'est néanmoins ce procédé qui, au fond, a été mis en œuvre dans la détermination du coefficient de rigidité de la Terre par l'observation des marées océaniques. Mais, ici, la nappe liquide est trop vaste pour qu'il s'agisse des oscillations de la verticale en un point. — Sous les attractions luni-solaires, la surface solide du globe et la surface des mers se déforment simultanément. En un point du rivage, les variations apparentes du niveau de la mer sont l'excès de la marée océanique sur la marée terrestre. La marée océanique théorique peut se calculer, et la marée apparente en est une fraction d'autant plus grande que la Terre est plus rigide. Mais les marées à courte période ne se réalisent qu'avec un certain retard vis-à-vis des variations du champ de forces auxquelles elles sont dues ; de plus, elles se compliquent des ondes secondaires qui, formées dans un océan, se propagent entre les continents comme une intumescence dans un canal ; et la rigidité de la Terre ne peut s'estimer que d'après les ondes de marée à longue période, telles que l'onde lunaire semi-mensuelle.

perpendiculaires, et, comme il suffit d'une quatrième lecture pour que leurs surfaces ne doivent point appartenir à une même surface de niveau, le liquide observé peut être enfermé dans deux tubes horizontaux indépendants.

C'est ainsi que, dans les terrains de l'Observatoire Yerkes, de l'Université de Chicago, Michelson fit creuser deux tranchées de six pieds de profondeur et de cinq cents pieds de longueur, l'une dans la direction nord-sud, l'autre dans la direction est-ouest. Dans chacune, il fit placer et recouvrir un tube horizontal, à demi rempli d'eau, et terminé à chaque extrémité par un cylindre que ferme une lame verticale de verre accessible dans une cave d'observation (1). Derrière cette glace, une aiguille verticale tournée vers le haut effleure le niveau de l'eau ; la distance de sa pointe à l'image de celle-ci, par réflexion totale sur la surface libre vue par en dessous, vaut deux fois la distance à la surface ; elle est observée au moyen d'un microscope micrométrique horizontal étalonné pour l'observation sous eau.

Les lectures se firent d'heure en heure ou de deux heures en deux heures, de fin septembre à fin novembre 1913. Les résultats présentèrent une concordance satisfaisante, et l'on en déduisit, pour le rapport des amplitudes observée et théorique, dans le sens nord-sud comme dans le sens est-ouest, 0,710 (2). L'anomalie

(1) A. A. Michelson, *Preliminary Results of Measurements of the Rigidity of the Earth*, dans THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, t. XXXIX, 1914, p. 105.

(2) En réalité, ce n'est pas ce résultat qui a d'abord été publié. La première étude de Michelson *(Preliminary Results)* conclut à

0,710 dans le sens est-ouest,
0,523 dans le sens nord-sud,

où l'on retrouve l'anomalie constatée à Potsdam. Mais elle résulte ici d'une erreur de calcul signalée par Moulton et rectifiée par Michelson et Gale dans SCIENCE du 3 octobre 1919. Le nombre 0,523 doit encore être divisé par le cosinus de la latitude du lieu, et la latitude de l'observatoire Yerkes, par un hasard singulier, a pour cosinus 0,7306 ; or 0,523 : 0,7306 = 0,710.

de Potsdam, Heidelberg, Dorpat était due à une circonstance régionale.

En publiant ses premiers résultats, Michelson avait annoncé des mesures plus précises dans lesquelles le microscope serait remplacé par l'interféromètre. On connaît le rôle joué par cet instrument, entre les mains du même physicien, dans la célèbre détermination du mètre en longueurs d'onde de rayons lumineux. On sait aussi comment, malgré son extrême sensibilité, l'indifférence de l'interféromètre de Michelson à son orientation par rapport à la direction du mouvement terrestre a donné naissance à ce principe de relativité qui est sur le point de renouveler la physique tout entière. Pour l'adaptation de l'interféromètre à la mesure des variations du niveau liquide dans chaque réservoir (1), un miroir horizontal se trouve sous la surface de l'eau, à très peu de distance de celle-ci. L'œil de l'observateur reçoit à la fois deux rayons lumineux émanés de la même source, l'un réfléchi sur le miroir immergé, après double traversée de la mince couche d'eau, l'autre réfléchi sur un miroir non immergé. Les franges d'interférence se déplacent en même temps que varie l'épaisseur de la couche liquide, d'où le moyen de mesurer, à chaque instant, cette épaisseur. A l'observation visuelle a été substitué un enregistrement photographique continu.

L'analyse des oscillations périodiques du niveau de l'eau a dégagé l'influence des ondes semi-diurnes lunaire et solaire et de l'onde diurne lunaire. Le rapport de l'amplitude observée de l'oscillation de la verticale à son amplitude théorique pour une Terre parfaitement rigide s'est exprimé par des nombres bien

(1) A. A. Michelson et H. G. Gale, *The Rigidity of the Earth*, dans THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, t. L, 1919, p. 330. Voir aussi l'article immédiatement suivant (p. 346) : F. R. Moulton, *Theory of Tides in Pipes on a rigid Earth*.

groupés, aussi bien pour les diverses ondes considérées que pour l'un et l'autre des deux tubes, et la valeur moyenne de ces nombres s'est trouvée égale à 0,690.

Eu égard à ces recherches extrêmement soignées, le coefficient de rigidité efficace de la Terre est proche de 720 000 kg par cm^2, voisin par défaut de celui de l'acier.

Si cet article a été fait, et fait si long, c'est bien moins pour apprendre que la rigidité de la Terre est de l'ordre de celle de l'acier, ce qui se lit partout, que pour montrer cette magnifique collaboration de tant de sciences, — mathématiques et physique, élasticité et résistance des matériaux, astronomie et mécanique céleste, géodésie et géologie, — dans un même problème, à la recherche de la vérité.

M. Alliaume,
Professeur d'astronomie à l'Université de Louvain.

De l'organisation sanitaire de la Belgique

L'organisation sanitaire d'un pays est toujours un problème d'actualité, parce qu'elle a pour but de diminuer la morbidité et la mortalité de la population.

La vie humaine est un capital de la Nation, le plus précieux assurément. La conservation de la santé et le développement normal de chaque citoyen doivent donc être la préoccupation constante et dominante des pouvoirs publics.

Je voudrais montrer d'abord les avantages qu'un pays peut tirer d'une sage réglementation de ce qui intéresse la santé de ses habitants. Ensuite j'exposerai comment se sont succédé en Belgique les dispositions législatives concernant l'hygiène publique : on verra de la sorte les étapes qui aboutirent à l'organisation sanitaire actuelle du pays. Cet exposé suggérera quelques réflexions qui formeront la dernière partie de cet article.

Qu'une organisation sanitaire adéquate ait sur l'état moral, économique et social d'un pays la plus heureuse influence, cela ne semble pas évident aux yeux de tous. Et cependant la guerre vient de nous en fournir une preuve éclatante.

Au début de la campagne, nos services sanitaires étaient désorganisés : aussi revécut-on les calamités des guerres antérieures : une épidémie de fièvre typhoïde

se déclara bientôt dans la population de la partie non envahie du pays et prit une grande extension. Dès l'application des mesures prescrites par les autorités responsables (isolement des malades et des porteurs des germes, vaccination antityphoïdique), l'épidémie cessa pour ainsi dire subitement. Aucune autre, depuis lors, n'est venue ravager nos populations, et pourtant les causes de propagation des maladies contagieuses étaient devenues plus fréquentes qu'en temps de paix.

Dans les armées, la mortalité par maladie fut moindre, malgré des conditions de vie plus défectueuses, peut-être, que dans les guerres d'autrefois.

Les endémies qui jadis sévissaient normalement dans toute armée en campagne jusqu'à les disperser et parfois les détruire n'ont pu s'infiltrer chez nous.

La cause en est bien simple : les services compétents, services sanitaires civils et militaires, ont pu agir d'autorité et appliquer avec unité les moyens d'action nécessaires. L'état de guerre rendait légales des mesures coercitives inaccoutumées.

La contre-épreuve de l'expérience faite pendant cette période tourmentée ne se fit pas attendre : ce fut, peu après les hostilités, l'épidémie de grippe dans la population civile.

Le Docteur Chassevant, professeur d'hygiène à la Faculté de médecine d'Alger, fait observer qu'en France la démobilisation avait disloqué tous les services sanitaires du temps de guerre et, coïncidence, à ce moment la grippe est apparue : l'épidémie affirmait de nouveau son pouvoir.

Dans notre pays on a combattu dans une certaine mesure cette désorganisation ; ainsi la lutte entreprise, en Belgique occupée, contre la mortalité infantile, et qui avait eu d'heureux résultats, a reçu après l'armistice la consécration officielle par la création de l'Office

national de l'Enfance. Cette œuvre devait continuer dans la paix l'essai tenté pendant la guerre.

En quoi consiste l'organisation sanitaire de la Belgique ?

L'Histoire nous montre que l'organisation sanitaire d'un pays s'édifie progressivement avec plus ou moins de lenteur, suivant l'évolution de la société et les progrès réalisés dans les diverses sciences. Il en fut ainsi chez nous.

Toute organisation sanitaire s'appuie avant tout sur le médecin et ses auxiliaires : le pharmacien, l'accoucheuse, l'infirmier et l'infirmière.

Le corps médical belge n'a pas toujours eu la formation que nous lui connaissons aujourd'hui. Ainsi, avant 1849, il existait en Belgique des docteurs en médecine, des docteurs en chirurgie, des chirurgiens de ville et des chirurgiens de campagne, des officiers de santé, à chacun desquels incombaient des devoirs bien déterminés. Vers cette époque, on s'est rendu compte de l'impossibilité d'établir une démarcation entre le domaine de la médecine et celui de la chirurgie, et de la nécessité d'exiger, de toute personne voulant s'adonner à la pratique médicale, une formation générale suffisante.

La loi du 15 juillet 1849 ne permit donc plus l'exercice de la médecine et de la chirurgie qu'aux détenteurs du diplôme académique de docteur en médecine, en chirurgie et en accouchements. C'était un premier pas. Mais tous les jours s'élargit le domaine des sciences médicales et hygiéniques ; aussi les docteurs en médecine, en chirurgie et en accouchements sont-ils contraints de se spécialiser dans certaine branche de leur art. Cette spécialisation est critiquée, il est vrai, dans le sein même du corps médical, mais, c'est un fait, elle existe. Elle n'est pourtant pas encore

sanctionnée par une loi exigeant des garanties de capacité : à l'heure actuelle, tout médecin, de sa propre autorité et sous sa responsabilité, peut se décerner un brevet de spécialiste. Déjà cependant les Universités accordent le titre académique d'agrégé en diverses branches de l'art de guérir à des médecins qui ont fait preuve de connaissances spéciales en la matière ; d'autre part, un diplôme de médecin hygiéniste a été créé par le Ministère des Sciences et des Arts ; mais il ne confère aucune prérogative pratique.

Un fait tout au moins reste acquis : depuis 1849 le législateur a jugé utile, dans l'intérêt de la vie et de la santé des citoyens, d'apporter des restrictions à la pratique de l'art de guérir et de lui fixer des règles ; en compensation, il a protégé la profession par les peines portées contre l'exercice illégal de la médecine. Il en résulte pour le corps médical une sorte de monopole, qu'il ne faut cependant pas s'exagérer, puisque les épreuves préparatoires restent accessibles à qui veut et peut les affronter. D'ailleurs ce monopole se justifie : le public doit être protégé contre l'ignorance, l'inexpérience et le charlatanisme de guérisseurs improvisés ; il est en droit d'exiger du corps médical des services sûrs, prompts, réguliers, rendus sous responsabilité, et rémunérés suivant des tarifs équitables. Cependant la médecine reste une profession libre, en ce sens que le médecin, si nous exceptons les cas d'urgence, n'est pas légalement tenu de prêter le secours de ses connaissances indistinctement à tous ceux qui s'adresseraient à lui.

Une organisation sanitaire vaudra surtout par la valeur morale, intellectuelle et sociale du corps médical. Aussi sa formation doit-elle être l'objet de l'attention des autorités publiques, surtout depuis que l'hygiène a pris une si grande extension. Le professeur Jules Courmont n'a-t-il pas défini l'hygiène : l'art de vivre en

pleine santé ? Le but de cette science est donc d'éviter la maladie, de donner au corps et à l'esprit le maximum de développement normal, de procurer à l'organisme humain la plus grande puissance de rendement. Pour atteindre ce résultat, elle doit mettre à contribution toutes les sciences qui peuvent aider à connaître les causes des maladies, des anomalies de développement de l'individu et de la race, ainsi que les moyens de combattre ces causes ; elle relève donc à la fois de la médecine, de la physiologie, de la chimie, de la physique, de la bactériologie, de la parasitologie, des mathématiques, de la sociologie, de l'économie politique, de la politique générale et même de la religion. Or le programme des études médicales ne comprend ni la sociologie, ni l'économie politique. Bien plus, certains cours indispensables au point de vue médical proprement dit ne sont pas obligatoires et ne font l'objet d'aucun examen.

Puisque la loi pose à l'exercice de la médecine certaines restrictions, il est logique que le législateur ait prévu des organismes chargés d'examiner les titres des personnes s'établissant dans leur ressort pour y exercer quelque branche de l'art médical, de veiller à ce que la profession soit exercée d'une manière convenable et régulière, enfin de pourvoir à tout ce qui intéresse la santé des populations.

Ces organismes sont les *Commissions médicales provinciales* instituées par la loi du 12 mars 1818. Ce sont elles qui délivrent les attestations de capacité à ceux qui désirent être admis à la profession de dentiste, d'infirmier, de sage-femme : elles exercent la surveillance des maladies contagieuses ou épidémiques qui se déclareraient dans leur district ; elles interviennent aussi dans les contestations d'honoraires, à la demande de l'autorité judiciaire ou à la requête des parties.

Mais le devoir principal du *bureau de la Commis-*

sion médicale est de veiller à l'observation des lois, arrêtés et règlements sur l'hygiène et la salubrité publique.

Pour faciliter l'exécution de cette tâche de la Commission médicale, des médecins et pharmaciens sont désignés par le Roi comme *membres correspondants*. Ils ont à répondre aux demandes de renseignements que leur feraient le président ou le secrétaire de la Commission, auxquels ils sont invités à signaler, de leur propre initiative, tous les faits intéressant la salubrité. Ils sont tenus d'avertir immédiatement le président de la Commission, en cas d'apparition, dans leur ressort, de maladies transmissibles ou pouvant devenir épidémiques. En 1897, le Docteur Devaux, inspecteur général du Service de Santé civil, dans son aperçu historique sur l'Hygiène publique, se plaignait de l'inertie habituelle de certains membres correspondants. Leur tiédeur est très compréhensible : bien que leur mission soit rétribuée, absorbés par leur clientèle, ils ont peu de temps à consacrer à la chose publique. Dans la lutte contre les maladies contagieuses, leur intervention ne peut être ni assez rapide, ni assez constante : elle est, de ce seul fait, peu efficace. D'un autre côté, les commissions médicales provinciales n'ont pas le temps de faire les enquêtes locales qui permettraient de retrouver les causes de contamination ; elles ne disposent pas d'ailleurs des moyens nécessaires pour effectuer les recherches indispensables.

Et c'est pour parer à ces inconvénients que le service d'inspection d'hygiène créé en 1845 auprès de l'Administration centrale du Service de Santé civil a été renforcé et décentralisé, en 1911, par la désignation en province d'*inspecteurs d'hygiène du gouvernement*. Ces fonctionnaires ne peuvent avoir de clientèle civile. Tout leur temps peut donc être consacré à la tâche d'intérêt général qui leur est assignée :

a) rechercher les mesures propres à améliorer la situation hygiénique et sanitaire des populations ;

b) remplir les missions reçues du Ministre pour la recherche des moyens de prévenir et de combattre les maladies épidémiques ;

c) émettre leur avis sur les affaires d'ordre technique ressortissant au domaine de l'hygiène, qui leur sont soumises par les Gouverneurs des provinces ;

d) éclairer les administrations locales sur tout ce qui concerne l'organisation et le fonctionnement de leurs services sanitaires, l'assainissement des localités et la prophylaxie des maladies transmissibles ;

e) exercer la haute surveillance des établissements dangereux, insalubres ou incommodes, dans les limites où cette surveillance relève du Ministère de l'Intérieur.

Ils ont, pour ce faire, un laboratoire à leur disposition.

J'ai tenu à donner les attributions des inspecteurs d'hygiène du Gouvernement immédiatement après celles des commissions médicales, afin de faire ressortir l'amélioration qu'apporta la création de ces fonctionnaires.

Un cas de maladie contagieuse se produit-il dans une commune, l'inspecteur d'hygiène, que nulle autre charge ne retient, se rend immédiatement sur place, fait prendre, par persuasion, les mesures nécessaires pour éviter la propagation de la maladie. Cette rapidité dans l'intervention est évidemment une condition essentielle du succès.

Les commissions médicales provinciales et l'inspection d'hygiène du Gouvernement dépendent directement de l'administration du Service de Santé et de l'Hygiène ressortissant au Ministère de l'Intérieur. Cette administration porte actuellement le titre de *Service de l'Hygiène*.

Ses attributions dernières ont été déterminées par l'arrêté ministériel du 29 octobre 1910 : législation sur l'exercice de l'art de guérir, législation sanitaire, organisation sanitaire, vulgarisation de l'hygiène, surveillance de la fabrication et du commerce des denrées alimentaires, examen au point de vue de l'hygiène des projets d'hôpitaux et d'hospices, application de la législation relative aux habitations ouvrières, travaux d'assainissement, réglementation et surveillance de certains établissements classés, surveillance de tous les établissements classés au point de vue de la salubrité extérieure, rapports entre l'hygiène publique et le régime intérieur du travail.

Nombreuses sont les autres institutions qui doivent concourir à l'organisation sanitaire d'un pays. Il m'a paru utile de signaler celles qui existent en Belgique ; je suivrai l'ordre chronologique de leur apparition, ce qui montrera clairement les progrès successifs réalisés dans notre pays.

D'abord, en 1831, le *Service sanitaire des ports*.

Il vérifie l'état des navires arrivant de régions contaminées et se charge de les surveiller durant leur séjour dans un port belge ou dans les eaux territoriales. Il comprend des commissions sanitaires et des médecins du service de santé du Ministère de l'Intérieur.

En 1841, fut créée l'*Académie royale de médecine*.

Elle a pour mission de répondre aux demandes, faites par le Gouvernement et de promouvoir les études et recherches, contribuant aux progrès de l'art médical (1).

(1) L'Académie royale de médecine s'occupe actuellement de la réforme de l'enseignement médical et discute un vœu à envoyer au Gouvernement pour que les élèves, porteurs du certificat de la section latine des collèges et athénées, soient admis, au même titre que les élèves de la section gréco-latine, aux études de médecine.

En 1849, le Gouvernement s'adjoignit un second organisme consultatif : le *Conseil supérieur d'hygiène*. Depuis sa création, ce Conseil a été réorganisé plusieurs fois et le dernier arrêté royal, datant du 14 septembre 1919, lui donne pour mission, indépendamment des attributions lui conférées par dispositions légales, de rechercher et d'étudier tout ce qui peut contribuer aux progrès de l'hygiène, de formuler à cet égard les propositions utiles, et d'émettre son avis sur les questions d'ordre sanitaire et hygiénique posées par le Gouvernement, agissant de sa propre initiative ou à la demande des autorités provinciales et communales.

Le Conseil supérieur d'hygiène est subdivisé en six sections :

I. Hygiène des individus et des groupes ;
II. Prophylaxie des maladies transmissibles ;
III. Prophylaxie de la tuberculose ;
IV. Hygiène alimentaire ;
V. Hygiène des habitations et des agglomérations ;
VI. Hygiène industrielle et professionnelle.

Il est autorisé à admettre à ses séances, pour l'examen d'une question déterminée, des personnes qui lui sont étrangères et dont le concours paraît désirable.

En 1882, fut organisé un *Office vaccinogène de l'État;* grâce à lui, la vaccination antivariolique est si répandue — sans toutefois être imposée — que la variole ne fait plus chez nous que de très rares apparitions. L'*Office* est chargé de la préparation du vaccin animal, qui est mis à la disposition des administrations et du corps médical. Depuis 1910, il prépare du vaccin en poudre à destination du Congo. Une commission, composée de trois membres et aux séances de laquelle assiste un délégué du Gouvernement, est chargée de surveiller la gestion administrative et financière de

l'Office et d'organiser, conjointement avec le directeur, les expériences nécessaires pour fixer le meilleur système à suivre dans la culture et la récolte du vaccin.

Le 4 août 1890, une loi donnait au Gouvernement le pouvoir de réglementer et de surveiller le commerce des denrées alimentaires. Il existe depuis lors des fonctionnaires qui ont le droit de pénétrer dans les magasins de denrées alimentaires, dans leurs dépôts et dans les locaux servant à la fabrication et à la préparation de ces denrées; ces agents dressent des procès-verbaux qui font foi jusqu'à preuve du contraire ; ils prélèvent, pour les examiner ou les faire analyser, des échantillons des marchandises suspectes; ils saisissent les denrées manifestement falsifiées ou contrefaites, et celles dont l'usage leur paraît nuisible ou dangereux, ainsi que les objets qui servirent à les préparer. Ce *service d'inspection* est secondé par les employés du service des accises pour ce qui regarde le commerce des bières; et par les inspecteurs vétérinaires du Gouvernement pour ce qui concerne le débit de la viande, et la fabrication ou la préparation des produits alimentaires à base de viande. En vue d'assurer l'exécution des analyses avec toute l'impartialité, la précision, la célérité et l'économie désirables, l'arrêté royal du 22 juin 1891 a tracé le programme des conditions d'organisation et de fonctionnement de *laboratoires* de l'État ou de laboratoires provinciaux, communaux ou privés.

Le 7 juillet 1891, en exécution de la loi du 5 avril 1889, fut décrétée par arrêté royal, l'organisation des *comités de patronage des habitations ouvrières*. Ils favorisent la construction d'habitations hygiéniques que l'ouvrier achète ou loue ; ils surveillent la salubrité des maisons ou des rues habitées par les classes laborieuses ; ils encouragent le développement d'organismes de prévoyance.

La législation a songé plus tard, en 1893, à prévenir les falsifications des substances médicamenteuses : la visite des magasins et des laboratoires des pharmaciens a été confiée à des délégués du Gouvernement portant le titre d'*inspecteurs des pharmacies*. Ces fonctionnaires ont dans leur domaine les mêmes pouvoirs que les inspecteurs des denrées alimentaires pour constater l'infraction aux lois sur la matière, saisir des médicaments falsifiés ou prélever des échantillons pour l'analyse.

Le développement industriel intense de notre pays rendit pressante la nécessité de s'occuper de la morbidité des diverses catégories d'ouvriers, notamment des maladies provenant de la nature du travail, de l'alimentation, de l'abus des boissons alcooliques : il fallait étudier l'efficacité des lois sur le travail des femmes et des enfants, des mesures et règlements concernant la salubrité et la sécurité des ateliers, les effets de la loi sur les habitations ouvrières, la situation et le développement des sociétés mutualistes ainsi que les différents modes d'assurance contre la maladie et les accidents du travail. Dans le but de donner une impulsion efficace, avec unité de direction, aux efforts réalisés dans ce sens, l'*Office du Travail* fut organisé en 1891 : il a comme auxiliaire le *Service d'inspection du travail et des établissements dangereux, insalubres et incommodes*. L'organisation du service médical de l'inspection du travail fut complétée par la désignation de médecins agréés : ceux-ci ont à faire les constatations et déclarations médicales prescrites sur l'état sanitaire des personnes employées dans les fabriques d'allumettes au phosphore blanc ou de composés de plomb.

Un *laboratoire de recherches*, exclusivement réservé à des études d'hygiène professionnelle, a été annexé à l'Office du Travail. Actuellement le service médical forme une direction générale indépendante.

Il est bon d'ajouter que les ingénieurs de l'Administration des mines, qui relèvent du Ministère de l'Industrie et du Travail, ont les mêmes attributions que les inspecteurs du travail. Ils sont chargés de veiller à l'application de diverses lois spéciales, celle du 31 décembre 1909, par exemple, qui fixe la durée de la journée du travail dans les mines, et celle du 5 juin 1911 qui autorise le Gouvernement à prendre des dispositions sauvegardant la salubrité publique ainsi que la sécurité et la santé des ouvriers.

En 1904, un *laboratoire de recherches chimiques et bactériologiques* a été annexé à l'Administration centrale du service de l'hygiène. On y contrôle les sérums, vaccins, toxines et produits organothérapiques au point de vue de leur action, de leur conservation et de leur débit. Depuis 1909, on s'y occupe également de la surveillance permanente des désinfectants spécialisés soumis au contrôle de l'Etat. Le laboratoire fournit aux inspecteurs d'hygiène du Gouvernement les vaccins nécessaires à la lutte contre les maladies contagieuses.

En 1905, le Ministère des Affaires Étrangères ayant dans ses attributions l'exécution de la loi du 14 décembre 1876 relative au transport des émigrants a institué un *service médical*. Celui-ci a, entre autres missions, celle d'inspecter les logements d'émigrants à Anvers ; il prescrit et contrôle les médicaments, instruments médicaux et désinfectants nécessaires pour la durée de la traversée, s'assure de la qualité des vivres, procède à la visite des émigrants au moment de leur départ et interdit l'embarquement de tout émigrant ou passager présentant des symptômes de maladie contagieuse.

En 1906, un *Service d'inspection des travaux d'hygiène* a été institué. Ce service examine et approuve

les projets de distributions d'eau, de lavoirs et bains publics, de constructions d'égouts, de stations de désinfection, de cimetières; il propose les subsides à allouer par l'État, contrôle les travaux et en fait la réception.

Depuis 1908 fonctionne un *Service de surveillance des voyageurs par voie de terre*, service dépendant du Ministère de l'Intérieur.

Au service de santé et de l'hygiène ont été adjointes la *Commission d'études du cancer* (1908), la *Commission de la Pharmacopée* (1909), la *Commission d'études des questions d'épuration des eaux* (1910).

L'alimentation en eau potable des agglomérations de notre pays est un problème de première importance; il a été résolu en 1914 par la création de la *Société nationale des Eaux*. Cette société a pour but de rechercher les disponibilités du sous-sol en eau potable et de répartir judicieusement celle-ci dans tout le pays.

Il faudrait ajouter encore l'*Office national de l'enfance*, créé en 1919, dans le but d'unifier l'application des moyens prophylactiques contre la mortalité infantile trop fréquente encore dans notre pays; — la *Société nationale des habitations et logements à bon marché*, créée en 1920, pour remédier à la crise du logement occasionnée à la fois par les destructions de la guerre et les nombreux mariages contractés depuis l'armistice; — le *Service médical* des prisons, dépôts de mendicité, maisons de refuge, écoles de bienfaisance de l'État; — le *Service médical spécial* pour l'examen de l'état mental des détenus, qui vient d'être remis au point de la façon la plus moderne.

Signalons aussi que le *Service de santé de l'armée* s'est réorganisé récemment sur le modèle des armées des grandes puissances.

A côté de ces organismes, dépendant de l'Etat,

existent de nombreuses *institutions sanitaires provinciales et communales.*

Certaines provinces ont organisé des sanatoria antituberculeux, des dispensaires antisyphilitiques, antigaleux, contre l'ankylostomasie, etc.

Des communes ont établi des *Commissions médicales locales,* des Comités de salubrité publique, des Bureaux d'hygiène, des Services techniques de vaccination, de désinfection, de surveillance du commerce des denrées alimentaires, de vérification des naissances et des décès, d'inspection médicale des écoles, de nettoyage de la voirie ; certaines d'entre elles ont monté des laboratoires de recherches, des dispensaires antituberculeux, antivénériens, des Services de police des mœurs, etc. ; d'autres possèdent une *Administration des hospices civils ;* elle doit pourvoir à l'assistance des vieillards, des infirmes, des orphelins, des enfants trouvés et abandonnés. De plus, dans toutes les communes, un *Bureau de bienfaisance* s'occupe de l'assistance des indigents en général, des aliénés non placés dans un asile, des sourds-muets et des aveugles non reçus dans un établissement spécial d'éducation. A ce bureau incombe le devoir d'organiser les soins médicaux et obstétricaux des indigents à domicile.

Cet exposé détaillé montre notre organisation sanitaire s'établissant non pas d'une façon continue, mais par à-coups, sans ligne de conduite, du moins nettement apparente, au gré du hasard, semble-t-il, mais surtout suivant l'apparition d'épidémies graves menaçant le pays, et parfois sous l'influence de modifications dans la mentalité de la population. Cependant les dates de création d'organismes sanitaires et de promulgation de lois intéressant le même domaine témoignent d'un progrès sérieux depuis une quinzaine d'années et

d'une très grande activité de l'administration centrale du service de l'hygiène.

Malgré ce développement irrégulier, notre organisation est aujourd'hui complète : elle touche à tous les domaines de la prévention des maladies et de l'art de les guérir; plusieurs services dépendant du Gouvernement, sont aidés dans leur mission par des Comités consultatifs compétents et ont des organismes d'exécution.

Mais alors d'où vient qu'en temps de paix cette organisation sanitaire est si peu agissante ? Pourquoi les effets de son intervention sont-ils si peu visibles ?

Je répéterai ce que je disais au début de cet article : c'est simplement parce que les services compétents des diverses administrations ne sont pas munis, par la loi, d'une autorité suffisante et ne peuvent donc appliquer avec vigueur les moyens d'action nécessaires. En temps de guerre, leur pouvoir coercitif était accentué : mais en temps de paix, notre législation reprend ses droits. Or, chez nous, les lois relatives à l'hygiène sont de trois sortes.

Les unes transmettent au Gouvernement, aux provinces, aux communes ou à certaines administrations publiques la mission de légiférer, de réglementer dans des limites qu'elles déterminent. Les autres tracent elles-mêmes les règles à observer; elles prescrivent ou elles prohibent directement. Les troisièmes sont mixtes.

Il n'existe donc pas de loi sanitaire générale, et c'est un point faible de notre mode d'organisation.

Le Gouvernement possède des pouvoirs bien définis quant à la police sanitaire des établissements dangereux, insalubres ou incommodes. Il lui appartient également de provoquer, par l'octroi de subsides, l'action d'associations libres, celle des communes dans l'exécution des travaux d'assainissement, etc.

Les provinces n'ont pas un rôle aussi important que

le Gouvernement. Elles agissent, dans le même but que les communes, pour prévenir les accidents ou fléaux calamiteux tels que les épidémies. Elles interviennent dans les autorisations à accorder à certains établissements classés. Elles font la police des cours d'eau non navigables, ni flottables. Il ne faut pas cacher qu'en dehors de ces missions bien définies, l'action des Gouverneurs est fort importante. Par leurs conseils, ils influent sur les administrations communales, les dirigent et peuvent parfois obtenir d'elles la réalisation de travaux d'hygiène reconnus nécessaires. Mais de tels résultats sont dus à la valeur personnelle de ces hauts fonctionnaires et non à leurs pouvoirs.

Le rôle des communes en fait d'hygiène est, au contraire, des plus étendus. La commune ne règle-t-elle pas, en effet, comme elle l'entend, tout ce qui concerne la salubrité publique, pourvu que ses décisions ne soient pas en opposition avec les pouvoirs de l'État et des provinces, ni avec les lois spéciales relatives à la matière ? La loi du 14 décembre 1789 stipule que « le pouvoir municipal est chargé ..., de faire jouir les habitants des avantages d'une bonne police de la propreté et de la salubrité ». La loi du 16-24 août 1790, titre XI, article 3, décrète : « Les objets de police confiés à la vigilance et à l'autorité des corps municipaux sont :

1° Tout ce qui intéresse la santé et la commodité du passage dans les rues, quais, places et voies publiques, ce qui comprend le nettoiement, l'illumination, l'enlèvement des encombrements, la démolition ou la réparation des bâtiments menaçant ruine ; l'interdiction de rien exposer aux fenêtres qui puisse nuire par sa chute et de rien jeter qui puisse blesser ou endommager les passants ou causer des exhalaisons nuisibles. . . .

. . . . . .

4° L'inspection sur la fidélité du débit des denrées ...

et sur la salubrité des comestibles exposés en vente publique.

5° Le soin de prévenir, par des précautions convenables, et de faire cesser, par la distribution des secours nécessaires, les accidents et fléaux calamiteux tels que les incendies, les épidémies en provoquant aussi, dans ce dernier cas, l'autorité des administrations de département et de district. »

Et voici une nouvelle raison de l'insuccès partiel de notre organisation sanitaire : elle admet trop d'autorités publiques qui peuvent agir simultanément; c'est l'éparpillement des efforts. En effet, certaines mesures sanitaires ne sont efficaces qu'à condition d'être appliquées uniformément sur tout le territoire du royaume, d'autant que le développement incessant et rapide du pays a forcément accru les risques de propagation des maladies transmissibles, les causes d'insalubrité et par suite la solidarité des individus au point de vue sanitaire, solidarité qui d'ailleurs ne se borne même pas aux frontières du pays, car il n'existe pas de douane pour les épidémies. De plus, il faut regretter que dans notre organisation sanitaire insuffisamment unifiée la part prépondérante soit donnée à la commune. Un impôt communal paraît plus facilement excessif qu'un impôt national : aussi les conseillers communaux, les membres des hospices civils et des bureaux de bienfaisance se gardent d'appliquer les lois de l'hygiène parce que cela coûte, momentanément, beaucoup d'argent. Ils ne tiennent pas compte des bienfaits sociaux que leur application apporterait au peuple et à la nation. D'autre part, bien des installations utiles à l'hygiène publique dépassent de fait les ressources communales; or, c'est de nos jours encore une victoire marquante pour un organisme d'hygiène du Gouvernement d'avoir décidé plusieurs communes à centraliser un service sanitaire

tel qu'un hôpital intercommunal d'isolement, un service médical des mœurs, un service de désinfection.

Signalons une dernière lacune. En comparant les pays au point de vue de leurs organisations sanitaires, on constate que si leur législation et leur organisation sont fonctions de la valeur de l'élite de leurs membres, l'application des lois et les résultats obtenus par l'organisation dépendent du degré de formation intellectuelle et morale de la population.

Chez nous, la population ignore, en général, les lois de l'hygiène. Or, la santé de chaque membre de la société étant étroitement solidaire de celle de ses voisins, la prospérité de la collectivité et l'avenir même de la race sont directement subordonnés à l'intégrité de la santé publique. Il est donc de première nécessité de faire l'éducation de notre population au point de vue de l'hygiène ; une propagande en ce sens, est donc devenue une nécessité sociale. Suffira-t-il de vulgariser les notions élémentaires ? Je ne puis le croire : les adultes sont si indifférents et si réfractaires aux saines habitudes nouvelles ! La propagande devra se faire à l'école et par l'école ; non point en leçons théoriques, mais par l'exemple.

Concluons.

Pour que notre organisation sanitaire manifeste une réelle vitalité, c'est-à-dire réunisse harmonieusement les qualités de sécurité de l'action publique et de souplesse de l'initiative privée, il y a lieu de modifier en bien des points notre législation sanitaire.

Notre nouvelle organisation sera-t-elle un Ministère de l'hygiène comme l'ont créé l'Autriche, l'Angleterre et la France ?

Il y a contre cette solution une difficulté sérieuse.

L'application des lois de l'hygiène exige la collaboration de nombreux agents étrangers au corps médical.

Les services médicaux doivent souvent coordonner leur action avec celle d'autres services techniques ressortissant à divers Ministères, dont on ne peut les séparer. Ne risque-t-on pas dès lors de créer des états-majors sans troupes et partant sans action ?

Pour être immédiatement bienfaisante, sans toutefois réaliser déjà la solution idéale du problème, la loi sanitaire nouvelle devrait donner une valeur d'obligation, mieux définie et plus accentuée, aux prescriptions des divers services d'hygiène publique. Elle devrait rendre plus aisée, et presque obligatoire, la collaboration intime de ces services, jusqu'ici trop dispersés. Elle devrait conseiller et même ordonner l'intervention, à titre consultatif, dans ces organismes d'administration, de tous ceux auxquels la pratique de l'art médical donne une certaine compétence ; ces praticiens à leur tour assumeraient la charge importante, et parfois difficile, d'éclairer le public sur les bienfaits de l'hygiène ainsi que sur l'observation de ses préceptes les plus élémentaires.

Une telle loi porterait remède aux trois obstacles, dont nous avons parlé plus haut. Le public et les personnes compétentes seconderaient de la sorte les pouvoirs publics, agissant d'autorité, dans le but commun d'assurer à tous une protection efficace.

Docteur H. Rulot,
Inspecteur Principal au Ministère de l'Intérieur.

VARIÉTÉS

I

L'ŒUVRE SCIENTIFIQUE DE MATHIEU RICCI, S. J. (1552-1610). (1)

Mathieu Ricci est le plus grand missionnaire que la Compagnie de Jésus ait envoyé en Chine. Non seulement il créa la mission, mais il lui imprima d'emblée le caractère si original qu'elle devait conserver jusqu'à la suppression de l'Ordre : chaque progrès du christianisme y fut toujours accompagné d'un progrès parallèle de la science profane.

(1) Mathieu Ricci naquit à Macerata, le 6 octobre 1552. Après avoir terminé ses humanités et s'être adonné quelque temps au droit, il fut reçu dans la Compagnie de Jésus, le 15 août 1571. Envoyé à Goa, puis à Macao, ses supérieurs lui confièrent la mission de tâcher d'introduire le christianisme en Chine. C'est le 5 février 1583 qu'il obtint, pour la première fois, des autorités chinoises, un permis de séjourner dans l'Empire du Milieu.

Il faut distinguer deux périodes dans les longues années que Ricci passa depuis lors en Chine parmi les vicissitudes les plus diverses, souvent tragiques. Pendant la première de ces périodes, il cherche à prendre contact avec la civilisation chinoise, s'efforce de pénétrer dans le milieu policé et susceptible des lettrés. En Europe, des envieux mal informés n'ont pas compris cette attitude. Ils ont reproché à Ricci d'avoir trop oublié alors son rôle de missionnaire, pour ne songer qu'à celui de savant. L'événement a prouvé combien l'imputation était injuste. L'autorité que sa science des mathématiques et sa connaissance de la littérature chinoise avaient acquise à Ricci dans le monde des lettrés, lui permit de s'établir à Péking. Là il sut se concilier la bienveillance de l'Empereur Van-Li, et c'est à l'ombre de ce puissant patronage, qu'il fonda lentement, mais sûrement, la mission de Chine. Mathieu Ricci s'éteignit à Péking, le mercredi 11 mai 1610.

Sa vie a été écrite en portugais, immédiatement après sa mort, par un de ses compagnons, le P. Sabbatino de Ursis. Elle a été publiée, en 1910, par le P. Valère Cordeiro, S. J., sous le titre de : *P. Matheus Ricci, S. J. Relaçao escripta pelo seu companheiro P. Sabbatino De Ursis, S. J...* Roma, Tipo-

En 1910, la ville de Macerata (Italie) célébra par des fêtes solennelles le trois-centième anniversaire de la mort de son illustre enfant. Pour en perpétuer le souvenir par un monument à la fois utile et durable, le comité organisateur décida la publication des *Œuvres historiques de Mathieu Ricci*. Sous ce titre il faut entendre ses *Mémoires* et sa *Correspondance*. Cette dernière, malheureusement en partie perdue, était jusqu'ici presque entièrement inédite. Quant aux *Mémoires*, Nicolas Trigault en avait jadis donné une version latine (1) assez exacte pour le fond, mais très libre dans la forme. Elle faisait depuis longtemps désirer le texte italien original.

L'édition des *Œuvres historiques de Mathieu Ricci* a été menée à bon terme par le P. Tacchi Venturi S. J., peu de temps avant la guerre (2). C'est un travail de solide érudition, com-

grafia Enrico Voghera, 1910. Voir : REVUE DES QUEST. SCIENT., t. LXVIII, octobre 1910, pp. 602-604).

Parmi les biographies récentes de Ricci, je me contenterai d'en mentionner deux, l'une et l'autre excellentes :

L'Apostolato del P. Matteo Ricci D. C. D. G. in Cina secondo i suoi scritti inediti. Lettura del P. Pietro Tacchi Venturi D. M. C. tenuta all'Accademia di religione cattolica in Roma, il 12 di maggio 1910. Secunda edizione. Roma, Civiltà cattolica, 1910. (Voir : REV. DES QUEST. SCIENT., t. LXX, octobre 1911, p. 661). Ce travail a reçu un complément important, dans le *Prospetto cronologico della vita del P. Matteo Ricci*, que le P. Tacchi Venturi a publié dans les *Opere storiche del P. Matteo Ricci S. J.*, pp. LXIII-LXVIII, dont nous parlerons plus loin.

Le Père Mathieu Ricci, fondateur des missions de Chine (1552-1610), par Joseph Brucker, S. J. ETUDES, t. 124, Paris, 1910, pp. 1-27 : 185-208; 751-779.

(1) *De Christiana Expeditione Apud Sinas Suscepta ab Societate Iesu. Ex P. Matthaei Riccii eiusdem Societatis Commentariis...* Auctore P. Nicolao Trigaultio Belga ex eadem Societate. Augustae Vind. apud Christoph. Mangium. MDCXV.

(2) *Opere storiche del P. Matteo Ricci S. I. Edite a cura del comitato per le onoranze nazionali*, con prolegomeni, note e tavole dal P. Pietro Tacchi Venturi S. I. *Volume primo. I commentarj della Cina*. Macerata, Premiato Stabilimento tipografico avv. Filippo Giorgetti, 1911. Un volume grand in-4° de LXVIII-650 pages et 8 planches hors texte.

Les *Commentaires* ou *Mémoires* de Ricci sont édités d'après le manuscrit original, qui a été retrouvé par le P. Tacchi Venturi dans une collection d'anciennes lettres appartenant à la Compagnie de Jésus. Ce manuscrit fut rapporté de la Chine en Europe par un Belge, le P. Nicolas Trigault, qui avait été envoyé à Rome par ses confrères, comme procureur de la mission. Le manuscrit est tout entier de la main de Ricci, sauf quelques chapitres du dernier livre, que l'auteur n'eut pas le temps d'achever, et qui furent complétés par Trigault lui-même. L'autographe de Ricci est dûment authentiqué par la plume de son confrère belge.

Les *Mémoires* sont composés de cinq livres divisés en chapitres. Le

posé de deux forts volumes, grand in-4°, imprimés avec luxe et enrichis de plusieurs belles gravures hors texte. Je sortirais du cadre de la REVUE si je voulais les analyser en entier, mais autre chose est d'y glaner quelques gerbes dans ce qu'ils nous apprennent sur Ricci géographe et sur Ricci réformateur de la mathématique chinoise : deux de ses titres de gloire.

I

Rien ne contribua plus à populariser le nom de Ricci dans les milieux chinois que la publication de sa Mappemonde, mais nous éprouvons aujourd'hui quelque peine à faire la bibliographie de cette œuvre importante. Les nouvelles pièces de la Correspondance nous fournissent la clef de la difficulté. Le 10 mai 1605, par exemple, Mathieu Ricci écrivait de Péking à son père, Jean-Baptiste Ricci, que la Mappemonde avait déjà eu au moins dix éditions. Or, la plupart de ces éditions sont com-

P. Tacchi Venturi les a subdivisés en numéros, avec sommaires du contenu, placés en tête de chaque chapitre et répétés au fur et à mesure dans les marges. Idée excellente, facilitant beaucoup les recherches.

Opere storiche del P. Matteo Ricci S. I... etc... Volume Secondo. Le Lettere dalla Cina. Macerata... 1913 Un volume grand in-4° de LXXII-570 pages et 4 planches hors texte.

La première partie du volume est consacrée aux lettres de Ricci lui-même ; la dernière contient des lettres, dont Ricci ne fut pas, il est vrai, le destinataire, mais qui le concernent et sont écrites par ses collaborateurs. Parmi ces lettres, il faut remarquer celles de Michel Ruggieri, premier compagnon de Ricci en Chine, et celles de Nicolas Longobardi, son successeur immédiat dans le gouvernement de la mission.

Ce second volume se termine par un Index alphabétique, très développé, des matières et des noms propres, qui me dispense de multiplier les références dans les notes du bas des pages.

Je dois signaler encore dans ce même volume, l'Appendice consacré par le docteur Giovanni Vacca à la bibliographie des écrits chinois de Ricci ; travail érudit, plein de renseignements curieux. Peut-être m'est-il permis de regretter que le docteur Vacca n'ait pas connu les *Notices biographiques et bibliographiques* de Pfister ; oubli bien excusable, sans doute, car ces *Notices*, autographiées à Chang-hai, n'ont pas été mises dans le commerce, et elles sont rares en Europe, même dans les maisons de la Compagnie. Je leur ai fait plusieurs emprunts. En voici le titre complet : *Notices biographiques et bibliographiques de tous les membres de la Compagnie de Jésus qui ont vécu en Chine pour y prêcher l'Évangile, depuis la mort de S. François Xavier jusqu'à la suppression de la Compagnie,* par le R. P. Louis Pfister de la même Compagnie. Chang-hai, 1868-1875. Un fort volume in-8° de 1157 et XX pages.

plètement perdues. C'est à peine si en Europe on peut indiquer un exemplaire de l'une ou l'autre d'entre elles, et il n'est pas certain que l'on soit plus riche en Chine, car, en écrivant à Chang-Hai sa belle bibliographie des ouvrages chinois de Ricci, Pfister ne semble pas avoir eu la Mappemonde sous les yeux.

Quoi qu'il en soit, voici ce que l'auteur lui-même nous en apprend. C'était en 1584, à Siao-Tchin (1). Pour décorer un peu leur modeste résidence et faire valoir en même temps la civilisation européenne, les Pères avaient appendu aux murs de leurs chambres quelques tableaux peints à l'huile et de belles gravures, notamment une Mappemonde. Ricci ne nous dit pas à quel atlas elle était empruntée et aucun indice ne nous permet de le conjecturer. On sait d'ailleurs que dès lors il avait paru plusieurs Mappemondes en Europe. Cette Mappemonde intriguait les visiteurs dont elle contredisait toutes les idées sur la constitution de l'univers. Pour un lettré chinois de 1584, le monde était un immense carré dont les quinze provinces de la Chine occupaient le centre ; de là le nom d'Empire du Milieu. Quant aux autres peuples, ils habitaient la périphérie de la terre dans de petites îles dont l'ensemble n'égalait pas une province de la Chine.

En voyant que les géographes barbares dessinaient le monde si grand et la Chine si petite, quelques visiteurs se fâchaient. D'autres, moins impatients, riaient sous cape, en se gaussant de la naïveté et de l'ignorance des prétendus savants d'Europe. Mais les plus intelligents — et il semble bien que ce fut le grand nombre — se montrèrent singulièrement intéressés par ce qu'ils avaient sous les yeux. Le gouverneur de Siao-Tchin y prit un plaisir extrême. Après s'être fait expliquer l'emploi des méridiens et des parallèles, il pria Ricci de lui dessiner une Mappemonde dans laquelle les noms des localités et toutes les légendes explicatives seraient écrites en chinois. Le Père s'exécuta de bonne grâce. Dès que le gouverneur eut le dessin entre les mains, il en fut si charmé que, sans même prendre la peine d'en avertir l'auteur, il fit graver la carte, la fit imprimer, défendit de la mettre en vente et s'en réserva toute l'édition. Il y voyait l'occasion de faire à ses amis des présents qui seraient très appréciés. « Je vous envoie quelques exemplaires de cette pièce, écrivait, à la

(1) Soit dit une fois pour toutes, sauf quand il s'agit de noms par trop connus, je conserve, dans la transcription des noms propres, l'orthographe de Ricci.

date du 30 novembre 1584, le P. Ricci au P. Acquaviva (1). Vous y remarquerez des inexactitudes. Quelques-unes sont de ma faute, car j'ignorais l'usage qu'on se proposait de faire de mon travail ; mais d'autres sont le fait des graveurs chinois. Cependant, à tout prendre, la carte prise dans son ensemble est infiniment plus correcte que tout ce que les Chinois ont publié jusqu'ici. » Le P. Tacchi Venturi a retrouvé un exemplaire de cette première édition à la Bibliothèque Ambrosienne de Milan, mais il ne le décrit pas. Jusqu'à meilleure information, je crois que ses dimensions ne dépassent guère celles des planches des Atlas de Mercator ou d'Ortelius.

La Mappemonde de 1599, au contraire, ressemble plutôt aux grandes cartes murales en usage dans nos écoles. Quand il la dessina, Ricci était à Nanking. Le succès de la première édition, l'autorité et la considération qu'elle avait values à l'auteur dans le monde des lettrés, le décidèrent à refondre complètement son premier travail et à le rééditer sur une échelle beaucoup plus grande. Entre autres avantages, il y voyait le moyen de multiplier les indications géographiques, de développer l'étendue des légendes, et par là — car il avait surtout en vue un but de prosélytisme — de donner indirectement aux Chinois grande opinion de la religion chrétienne. Le succès dépassa les espérances et fut encore plus grand que celui de la première édition.

En 1601, sur les instances d'un mandarin en vue, nommé par les Chinois *Lingozuon* (2) et plus tard par les chrétiens le docteur Léon, Ricci, qui habitait alors Péking, mit une troisième fois son œuvre sur le métier. Il fit graver les clichés en double exemplaire, mais avec de légères différences dans les légendes. Pourquoi ? Il ne le dit pas clairement. Pour autant qu'il soit possible de le deviner, la cause en fut que l'un des deux clichés devait fournir des cartes destinées au palais, qui pourraient à l'occasion être mises sous les yeux de l'Empereur. C'est ce qui arriva effectivement, nous le verrons plus loin. L'autre cliché devait servir à l'impression des cartes offertes en vente au public. Chacun de ces clichés était composé de six grandes plaques ou tables rectangulaires. Le fonds Barberini de la Bibliothèque Vaticane, nous apprend le P. Tacchi Venturi, possède une

(1) Pour abréger, je traduis parfois Ricci un peu librement dans cette citation, comme dans plusieurs des suivantes.

(2) Pour transcrire les trois caractères chinois du nom propre de ce mandarin, M. Vacca écrit *Li Ci-tsao (Opere storiche,* t. II, p. 543) ; le P. Pfister, *Li Che-tsao* (p. 41).

Mappemonde Riccienne en six feuilles provenant peut-être de l'un des deux clichés. Chaque feuille mesure 0,69 mètre de large sur 1,79 de long. Une planche hors texte des *Opere storiche* représentant la Chine et l'Asie orientale nous en donne une idée suffisante. On montait la carte en juxtaposant les six feuilles sur soie ou sur toile, comme cela se pratique encore de nos jours. Parfois on en réunissait aussi les feuilles par des cordonnets.

La Mappemonde fut-elle officiellement présentée à Van-Li au nom de Ricci ? Il ne semble pas. Pour tenter cette démarche, le missionnaire ne connaissait pas assez les sentiments intimes du monarque. Peut-être craignait-il que le souverain ne fût, lui aussi, de ces Chinois qui reprochaient aux géographes européens de faire le monde bien grand et la Chine bien petite. Quoi qu'il en soit, si Ricci en jugeait ainsi, il se trompait.

On était en 1608. Des amis que les Pères comptaient à l'intérieur du palais avaient fait suspendre la Mappemonde en guise d'ornement dans l'une des salles, espérant que l'empereur l'y remarquerait. Leur attente ne fut pas déçue. Van-Li s'arrêta devant la carte, se la fit expliquer, en fut si ravi qu'il en commanda sur-le-champ dix exemplaires pour les distribuer dans son entourage. Ce fut l'occasion d'un gros émoi.

Pour donner suite à l'ordre impérial, les mandarins du service intérieur, que la chose concernait, s'en furent trouver les Pères. Là ils apprirent qu'il était impossible de satisfaire immédiatement à leur désir. Lingozuon avait quitté Péking en emportant avec lui l'un des deux clichés de la Mappemonde ; l'autre, et précisément celui qui avait servi à tirer les cartes du palais, était bien resté dans la capitale, mais une inondation terrible qui couvrit Péking de ruines avait renversé de fond en comble l'imprimerie dans laquelle les plaques gravées se conservaient ; elles étaient désormais inutilisables.

Que faire ? Recourir aux planches de Lingozuon paraissait tout indiqué et les Pères proposèrent d'abord cette solution. Mais les mandarins se récrièrent aussitôt. Les légendes des deux cartes n'étaient pas identiques. L'empereur pourrait s'en apercevoir et s'irriter. On n'y pouvait songer.

Ricci offrit alors aux mandarins de faire de nouveau graver la Mappemonde à ses propres frais. Il pourrait la rendre plus élégante et, si cela plaisait à Sa Majesté, en retoucher les légendes. Il demandait un mois pour parfaire ce travail. L'offre fut acceptée par les mandarins, et un placet dans ce sens présenté à l'empereur. Cette fois, ce fut Van-Li qui refusa. Des graveurs

d'élite étaient attachés à son service dans l'intérieur du palais. Il voulait la Mappemonde sans modifications. On n'avait qu'à s'adresser à eux et à leur ordonner de la copier telle qu'elle était ; ce qui fut fait.

Toutes ces démarches firent du bruit et contribuèrent puissamment à établir le crédit des Pères dans l'esprit public. Comment mépriser encore la géographie européenne quand l'empereur lui-même la tenait en si haute estime ? Mais Ricci voyait les choses encore autrement et de plus haut : « Espérons, dit-il après avoir racouté cette aventure, que soit l'empereur régnant, soit l'un de ses successeurs, reutrera en lui-même après avoir lu les inscriptions de la carte, et qu'il cherchera à connaître la religion des principaux peuples qui entourent la Chine. »

Ces épisodes, curieux sans doute, ont cependant un certain air de simple chronique anecdotique du palais. Ils n'expliquent pas la grande réputation de géographe que Ricci s'est acquise en Europe. Aussi, hâtons-nous de le dire, ses titres vraiment scientifiques sont différents et plus sérieux (1).

Dès son arrivée dans l'Extrême-Orient, il remarqua que les cartographes dessinaient fautivement les frontières de la Chine. Ensuite, il résolut l'un des problèmes géographiques les plus ardus de son temps : l'identification du Cathay de Marco Polo et de la Chine des Portugais.

Depuis longtemps la priorité de la découverte n'est plus contestée à Ricci, mais la publication de la *Correspondance* nous fournit quelques renseignements nouveaux sur le sujet. Ils font honneur à la perspicacité du savant. Dès 1596, il y voyait clair. « J'étonnerai fort Votre Révérence, écrivait-il de Nancian, le 13 octobre, au P. Acquaviva, mais je lui communique une pensée qui m'est venue au retour de mon récent voyage à Nanking. La Chine n'est autre que le Cathay de Marco Polo, et Nanking, jadis capitale de la Chine, est Cambalu, la ville aux mille ponts, capitale du Cathay. » Puis il donnait de sa conjecture des raisons qui prouvent la justesse de son coup d'œil.

(1) Il va sans dire que je suis incomplet. Un historien de la géographie trouverait dans les *Opere storiche* bien d'autres renseignements sur la Mappemonde et ses diverses éditions. Par exemple, Ricci parle encore d'une édition réduite publiée sous forme d'atlas (*Mém.* L. 4, C. 5, N. 6), ainsi que d'une autre édition agrandie au contraire. Cette dernière préparée par un chrétien chinois, mais revisée par les Pères, était en huit feuilles. (*Mém.* L. 4, C. 15, N. 4).

Vers la même date, Ricci envoyait aux jésuites des Indes des lettres, malheureusement perdues, dans lesquelles il leur communiquait ses idées sur le Cathay et les arguments de l'opinion qu'il s'en était faite. Arrivées à Goa, ces lettres y piquèrent la curiosité, mais ne levèrent pas tous les doutes. Les autorités portugaises civiles et religieuses en eurent connaissance et s'en occupèrent. Plus que n'importe qui, ces personnages avaient un intérêt politique considérable à être bien renseignés sur la position du Cathay, comme à être fixées sur la possibilité d'atteindre la capitale de la Chine par ce pays et par la voie de terre. Aussi, Philippe II qui portait alors la double couronne d'Espagne et du Portugal, prit-il à cœur de résoudre le problème. C'est sous son impulsion que fut organisé à Goa le célèbre voyage de Benoit de Goès, l'un des plus extraordinaires dont l'histoire ait gardé le souvenir.

On a raconté et discuté sous tous ses aspects l'odyssée merveilleuse de ce simple petit frère coadjuteur de la Compagnie de Jésus, ancien soldat de l'armée coloniale portugaise, converti dans des circonstances extraordinaires aux pieds d'une image de la Vierge ; de ce religieux modeste, qui, malgré sa facilité pour les langues, son talent de diplomate, ses hautes facultés intellectuelles, ne consentit pas à se laisser élever au sacerdoce. Mais son humilité et ses répugnances étaient dans les vues de la Providence. Prêtre, il n'eût jamais pu jouer le rôle de marchand arménien catholique, qu'il parvint à soutenir quatre ans durant, dans les circonstances les plus difficiles, au milieu de populations païennes et mahométanes.

Pendant les premiers mois du voyage, les lettres de Goès arrivèrent assez régulièrement aux Indes ; puis le silence se fit. Ricci, cependant, qui, par ses confrères des Indes, avait été tenu au courant du détail de l'expédition, s'y intéressait comme à son propre ouvrage. Elle avait, croyait-il, dû faire parler d'elle dans les caravanes de l'Asie centrale, qui se rendaient des frontières de la Perse vers celles de la Chine. Aussi s'enquérait-il de ses résultats par tous les moyens, interrogeant surtout les ambassadeurs étrangers qui venaient à Péking par l'Occident de la Chine, quand leurs affaires les appelaient dans la capitale des Célestes. Toutes les recherches étaient restées infructueuses, quand un jour Ricci reçut une lettre de Goès lui-même. Elle l'informait qu'il était arrivé à Succeo, ville frontière de l'Empire, mais se sentait à bout de forces. Il implorait un prompt secours.

Envoyer un prêtre à sa rencontre, écrit Ricci à Acquaviva, il n'y fallait pas songer. Tous étaient européens, jamais les auto-

rités chinoises n'eussent consenti à en laisser pénétrer un dans les provinces éloignées de l'Empire. Heureusement, depuis longtemps déjà, Ricci avait compris la nécessité de ménager la susceptibilité des Chinois envers l'étranger. Des chrétiens nationaux, s'était-il dit, accompliraient avec succès plus d'une œuvre de zèle interdite aux Européens. Bravant donc les objections de quelques collègues craintifs, il avait obtenu de ses supérieurs l'autorisation de recevoir au rang de frères coadjuteurs quelques néophytes d'une vertu éprouvée, qui lui rendaient déjà de précieux services. L'un d'eux surtout, novice encore, lui inspirait avec raison toute confiance. En entrant en religion, il avait pris le nom portugais de Jean-Baptiste Fernandès. En hâte Ricci l'envoya à la rencontre du frère Benoît. A son arrivée à Succeo après plusieurs mois de voyage, le frère Jean-Baptiste trouva Goès mourant. Il le réconforta de son mieux pendant les dix jours qui lui restaient à vivre ; le consola beaucoup en lui parlant en portugais, sa langue maternelle ; lui remit des lettres de Ricci qui le remplirent de joie ; lui prodigua les soins les plus affectueux, les plus dévoués, et le vit enfin s'endormir de son dernier sommeil doucement et sans regrets. Les durs labeurs de Goès, entrepris par pure obéissance, n'avaient pas été inutiles. Le but de son voyage était atteint. Par les renseignements qu'il rapportait, le P. Ricci pouvait, en effet, démontrer à l'évidence que le Cathay était la Chine et Cambalu la capitale du Cathay ; c'est-à-dire Nanking au temps de Marco Paolo, Péking à l'époque où Goès mourait (1).

J'abrège, car les grandes étapes du voyage de Goès sont connues depuis longtemps (2) par le récit qu'en a fait Nicolas Tri-

(1) Je ne vois guère d'autre moyen de concilier les divers passages où Ricci parle de Cambalu. Pour lui, Cambalu signifie tout bonnement : *Cour du grand Khan*. (*Mémoires*, L. 4, C. 3, N. 3. *Opere storiche*, t. I, p. 297). C'est donc une espèce de nom commun, qui, d'après les époques, peut avoir désigné des villes différentes. Il résultait à l'évidence du voyage de Goès, que Cambalu, pour les peuples voisins de la Chine, était alors Péking. Mais, il est plus douteux que Ricci ait raison quand il identifie la capitale du Cathay de Marco Polo avec Nanking. Je ne puis que renvoyer sur ce sujet aux notes que le P. Tacchi Venturi a ajoutées à la lettre écrite par Ricci à Acquaviva le 13 octobre 1596. (*Opere storiche*, t. II, pp. 221-229).

(2) Voir sur ce sujet la belle étude du P. Joseph Brucker : *Benoît de Goès, missionnaire-voyageur dans l'Asie Centrale (1603-1607)*. ÉTUDES RELIGIEUSES, PHILOSOPHIQUES, HISTORIQUES ET LITTÉRAIRES, PAR DES PÈRES DE LA COMPAGNIE DE JÉSUS, 6e série, t. III. Paris et Lyon, 1879 ; pp. 589-612 et 678 695. Il convient de mentionner en outre une étude plus récente du P. C. Wessels, S. J., qui a paru dans les STUDIËN, TIJDSCHRIFT VOOR GODS-

gault dans son *Histoire de l'expédition chrestienne au Royaume de la Chine, tirée des Mémoires du R. P. Mathieu Ricci* (1). D'ailleurs, je ne crois pas que l'édition du texte italien original puisse modifier beaucoup les résultats considérés comme acquis. Un point pourtant est à signaler : l'orthographe des noms propres chez Ricci diffère assez souvent de celle adoptée par Trigault. Peut-être permettra-t-elle quelques identifications restées jusqu'ici douteuses. Quant à la *Correspondance,* nous n'y trouvons que des récits du voyage de Goës, plus courts encore que le résumé des *Mémoires.* Dans plusieurs lettres à Claude Acquaviva, Ricci lui annonce, il est vrai, qu'il lui envoie des relations très détaillées de toute l'expédition, trop longues, dit-il, pour les retranscrire. Elles semblent n'être jamais parvenues à destination. C'est une perte irréparable. Mais, telle qu'elle nous reste, la *Correspondance* de Ricci est néanmoins précieuse, au point de vue de cette grande traversée de l'Asie. Aussi, le P. Tacchi Venturi appelle-t-il l'attention du lecteur sur la parfaite concordance des abrégés du voyage de Goës contenus dans les lettres, avec la narration un peu plus développée des *Mémoires.* Il y voit un nouvel argument pour se fier à l'exactitude de ces derniers.

II

Dans son *Histoire des Mathématiques en Chine et au Japon* (2), M. Yoshiô Mikami, savant japonais, a consacré un chapitre aux progrès dus à l'influence des méthodes européennes sur la science chinoise. « Le promoteur de la réforme, dit-il, fut Li-Ma-teu. » Les Européens disent : Mathieu Ricci, dont Li-Ma-teu est le nom chinois.

Pour se rendre compte de la portée de ce mouvement, il faut, avant tout, ne pas oublier quel était le niveau des sciences mathématiques en Italie à l'époque de Ricci.

DIENST, WETENSCHAP EN LETTEREN, sous le titre : *Bento de Goës. S. J. Een ontdekkingsreiziger in Centraal-Azië (1603-1607).* T. XLIII, Nimègue, 1911, pp. 72-96 et 229-248.

(1) A Lille, de l'imprimerie de Pierre de Rache, imprimeur juré à la Bible d'Or, 1617. Traduction de l'ouvrage latin dont nous avons donné au début le titre. Elle est du sieur D. F. de Riquebourg-Trigault, neveu du P. Nicolas. C'est l'édition du grand ouvrage de Trigault qui était jusqu'ici le plus fréquemment citée, peut-être à cause de la savoureuse langue française du traducteur.

(2) *The Development of Mathematics in China and Japan.* Leipzig, Teubner, 1913 ; part. I, ch. 17, pp. 113 et 114.

Dans sa jeunesse, Ricci fut au Collège Romain élève de Clavius, qui y débutait dans l'enseignement des Mathématiques. Sous cet illustre maître, il étudia l'arithmétique, les XV livres des *Éléments* d'Euclide et probablement aussi les *Sphériques* de Théodose, la *Sphère* de Sacro Bosco et l'*Almageste* de Ptolémée. Ce programme épuisait alors les plus hautes spéculations de la science. J'oubliais de parler de l'algèbre. Ricci, dans son âge mûr, Clavius, dans sa vieillesse, sont les contemporains de Viète. Je ne crois pas, cependant, que le missionnaire ait eu l'occasion d'étudier les ouvrages de l'algébriste de Fontenay-le-Comte. Plusieurs fois il déplore, dans sa correspondance, la pénurie des livres dont il dispose. La seule lettre à Clavius qui nous ait été conservée a pour but de remercier son vieux maître d'avoir songé à lui envoyer un exemplaire de l'*Astrolabe*. L'arrivée à destination de ce volume semble avoir été un événement.

Quant au cours d'algèbre que Ricci pouvait avoir suivi au Collège Romain, il ne dépassait certainement pas l'*Ars Magna* de Cardan et l'*Arithmetica Integra* de Stifel. Cette dernière surtout eut toujours les préférences du jésuite de Bamberg. Dans sa propre *Algèbre*, il en adopta les notations et les méthodes, mais, il faut à regret le reconnaître, sans jamais citer la source. A-t-on suffisamment crié au plagiat ! Excusons cette petitesse ou plutôt cette erreur de jugement d'un grand homme. Stifel était un protestant combatif, un ami de Mélanchton. En reconnaissant son mérite, Clavius eût cru donner un gage à la Réforme. Il était alors plus malaisé qu'aujourd'hui de rendre justice à un adversaire. Passons outre. Il faut admettre, en résumé, que la science de Ricci n'allait guère au-delà des *Œuvres* de Clavius, mais il les possédait à fond (1).

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que Ricci fit connaître la géographie européenne aux Chinois dès 1584. Dès alors aussi, il songea à introduire chez eux les mathématiques et l'astronomie des Occidentaux ; mais il se butait à deux difficultés spéciales : la langue et l'état de décadence dans lequel les sciences exactes étaient tombées sous la dynastie des Mings. Nulle généralité dans les méthodes, nulle rigueur dans les démonstrations.

(1) Elles parurent d'abord en ouvrages séparés. Après la mort de Ricci elles furent réunies en une grande collection d'ensemble composée de 5 vol. in-f°. *Christophori Clavii Bambergensis e Societate Iesu Opera Mathematica*. Moguntiae, Sumptibus Antonii Hierat. Excudebat Reinhaldus Eltz. Anno MDCXII.

Des problèmes numériques dont la patience du calculateur faisait les principaux frais, voilà tout ce qu'on y rencontrait.

Et, cependant, malgré ces obstacles, la version des six premiers livres des *Éléments* d'Euclide par Ricci est un chef-d'œuvre de beau style chinois ! Comment accomplit-il cette merveille ? Il nous l'a raconté lui-même (1). En cela, comme en tant d'autres circonstances, il fut un initiateur, et sa méthode a été, peut-on dire, d'un usage courant après lui.

Mais, avant de l'exposer, je dois prier le lecteur de bien vouloir se rappeler un détail de l'organisation intérieure de l'Empire chinois. Sous les Mings, comme plus tard sous les Mantchous, toutes les charges de l'État, même les plus hautes, étaient mises au concours et ne se distribuaient qu'à la suite d'une série d'examens. Il en résultait, que par le fait des longues épreuves dans lesquelles ils avaient dû exceller pour parvenir aux emplois, les colaos ou ministres d'État étaient non seulement les premiers dignitaires, mais naturellement aussi les plus fins lettrés de l'Empire.

Or, Ricci avait converti un colao fameux, Paul *Siu*, qui jusqu'à nos jours a laissé un grand nom à la fois dans l'histoire de la littérature et dans celle du christianisme en Chine. Au cours des entretiens que le missionnaire avait eus avec le haut magistrat, il avait trouvé l'occasion de lui expliquer, proposition par proposition, les premiers livres des *Éléments*. Plein d'admiration pour la rigueur des démonstrations, Paul *Siu* fit entendre à Ricci, que rien ne donnerait aux Chinois plus haute idée du génie des savants occidentaux, et par là de leur religion, qu'une traduction élégante du géomètre grec.

Ricci en convint, mais pouvait-il s'y hasarder ? Sans doute, il connaissait le chinois mieux, peut-être, qu'aucun Européen ne le parla, ni ne l'écrivit jamais. Mais, sous les Mings, Péking était une nouvelle Athènes : pas plus que jadis dans la capitale de l'Attique, un étranger ne parvenait, dans la capitale chinoise, à dissimuler son parler étranger. Comment vaincre la difficulté ?

Le colao préféra la tourner. Il connaissait un excellent lettré, nommé *Ciangueinhi*, auquel des liens d'amitié l'attachaient. Ce lettré était pauvre, mais plein de talent. Il avait brillamment conquis le grade de licencié. L'âge et les lois chinoises l'empêchaient néanmoins d'aspirer au doctorat. Paul *Siu* lui assura

(1) *Opere storiche*. t. II. *Com.* L. 5, C. 8, N. 5 ; pp. 501-502. Voir aussi, au t. II, les lettres à Acquaviva du 8 mars et du 22 août 1608, etc.

des honoraires convenables et l'attacha au service de Ricci. Le missionnaire expliquerait le texte d'Euclide, après quoi le lettré le traduirait en chinois châtié. L'essai fut malheureux. Malgré sa bonne volonté, *Ciangueinhi* ne s'assimilait pas le texte original. Il n'était pas mathématicien. A bout de ressources, Ricci avoua l'échec à son ami *Siu*. Tous les lettrés, lui insinua-t-il, n'avaient pas la perspicacité d'un colao. *Siu* comprit et se décida à aider lui-même le missionnaire. Pendant plus d'un an, il vint journellement, parfois pendant plusieurs heures, se faire expliquer Euclide. Cette fois Ricci avait trouvé l'auxiliaire digne de lui, dont il avait besoin. Aussitôt achevé, le manuscrit des traducteurs fut mis sous presse et vit le jour au cours de l'année 1607.

Le succès fut prodigieux et mit une sourdine à la jactance tapageuse des lettrés chinois. Tout était neuf dans ce livre : enchaînement des idées, profondeur de la doctrine, élégance et rigueur des preuves. Ce qui humiliait le plus l'orgueil des lettrés, c'est que, laissés à leurs propres méditations, ils ne comprenaient pas. Pour voir clair dans Euclide, ils devaient, à leur confusion, se le faire expliquer. Mais alors l'étonnement redoublait. Jamais ils n'avaient soupçonné que des vérités pouvaient se déduire les unes des autres avec une pareille force et une si impeccable logique. Ricci, et parfois, à son exemple, le colao lui-même, se faisaient professeurs de mathématiques. L'autorité que le missionnaire s'acquérait ainsi était tout gain pour la religion.

Au jugement de nos meilleurs sinologues, les six livres d'Euclide sont un modèle de l'art difficile de faire passer dans la langue chinoise un ouvrage écrit dans un idiome européen. Outre le texte du géomètre grec, la version contenait les principaux commentaires et les plus importants scolies de Clavius. Elle était précédée d'une double préface de la plume de *Siu*. L'une d'elles était censée écrite par Ricci. Le missionnaire y faisait, dans le goût chinois, l'éloge d'Euclide et de son traducteur latin, le P. Christophe Clavius, jadis son maître à Rome. Dans l'autre préface Paul *Siu* parlait en son nom personnel et exaltait la science européenne.

L'Euclide de Ricci eut de nombreuses rééditions jusqu'en plein dix-neuvième siècle. D'après le P. Pfister, l'édition originale de Péking, (1607), est en six volumes. Le P. Tacchi Venturi ne l'a pas eue en mains, mais il croit qu'elle pourrait se trouver à la Bibliothèque Nationale de Paris (1). En revanche, l'édition

(1) Vérification faite, le catalogue de M. Maurice Courant manque, en effet, d'un peu de précision. Voir : *Bibliothèque Nationale. Département des*

de 1608 existe certainement en double exemplaire dans le fonds Barberini de la Bibliothèque Vaticane. Ricci envoya à plusieurs reprises sa traduction en Europe. Parmi les destinataires, il n'oublia ni le Général de la Compagnie de Jésus, ni surtout Clavius lui-même. « Je ne vous fais pas parvenir la traduction complète de tout l'ouvrage, écrit-il à Acquaviva, le 28 août 1608. Ceux qui connaissent Euclide devineront suffisamment, par les figures, quel sujet est traité dans chaque page. » Mais, continuait-il, il faisait une exception en faveur des deux préfaces pour lesquelles il ajoutait au texte une version.

Malgré sa modestie, le traducteur avait la pleine conscience de l'impression que son Euclide avait produite sur les lettrés. Il souriait de la difficulté que plusieurs des plus orgueilleux éprouvaient, sans l'avouer, à comprendre la géométrie. Aussi, n'est-ce pas sans une pointe de malice qu'il écrivait dans ses *Mémoires* (1) : « Fù opera più ammirata che intesa » : l'ouvrage fut plus admiré que vraiment compris.

Malgré cela, Ricci n'en était pas pleinement satisfait et il se proposait d'en donner une édition corrigée. C'est ce qui résulte d'une remarque du docteur Giovanni Vacca, dans sa bibliographie des écrits chinois de Ricci. La Bibliothèque Victor Emmanuel à Rome, dit-il, possède une édition de l'Euclide postérieure à la mort du traducteur. Elle renferme des détails intéressants sur le projet d'édition revisée et sur la cause de son échec. En mourant, Ricci avait légué aux PP. Pantoja et de Ursis, ses collègues, un exemplaire de son Euclide, amendé de sa main. Mais, une épouvantable tempête de l'été 1611 dispersa les papiers du défunt, détruisant ainsi le fruit de plusieurs années de travail. Les nouveaux éditeurs, à leur grand chagrin, ne purent en tenir compte.

Voilà pour la géométrie. En arithmétique, Ricci se montra aussi réformateur que dans la science de l'étendue. Lors de son entrée dans l'Empire du Milieu, il avait constaté que l'art de calculer sur le papier avec la plume y était ignoré, même par les professionnels du métier. Les opérations de l'arithmétique s'exécutaient au moyen d'instruments matériels appropriés.

Manuscrits. Catalogue des Livres Chinois, Coréens et Japonais, t. II. Paris, Leroux, 1903, p. 34.

(1) *Opere storiche*, t. I. *Com.* L. 5, C. 8, N. 5, p. 502.

Mais ces appareils étaient loin de se manier toujours correctement ; ils donnaient lieu à de nombreuses erreurs (1).

Cette fois encore le missionnaire ne procède pas bruyamment, ni à grands coups d'éclat. Petit à petit, il intéresse au calcul européen quelques-uns des visiteurs dont, à Péking, la résidence des Pères ne désemplissait pas. Le docteur Léon *Lingozuon*, notamment, y prit plaisir. Le lecteur se rappelle avec quelle ardeur il s'était mis en avant pour populariser la Mappemonde de Ricci. Il ne montra pas moins de zèle pour faire connaitre à ses concitoyens l'arithmétique des Occidentaux. Ricci lui avait expliqué dans ses moindres détails tout l'*Epitome Arithmeticae Practicae* publié à Rome par Clavius, en 1584. Léon engagea son professeur à le traduire et lui promit sa collaboration. L'offre acceptée, les deux amis se mirent au travail.

Quand Ricci nous le raconte dans ses *Mémoires*, la version était achevée. Elle ne fut pas publiée immédiatement, et le narrateur ne nous disant pas pourquoi, nous en sommes, pour le deviner, réduits aux conjectures. Il est probable, cependant, que le docteur Léon et son maître furent absorbés par la mise au jour de travaux d'apologétique, qui intéressaient plus directement la défense de la Foi.

Au surplus, quelle qu'en fût la raison, l'*Arithmétique* ne parut qu'en 1614, plusieurs années après la mort de Ricci. Pour porter l'ouvrage à sa perfection, le colao Paul *Sin* ne dédaigna pas d'y mettre la main et d'en faire, comme de l'Euclide, un travail achevé. M. Giovanni Vacca nous donne une courte description du volume qui naquit de ce travail à trois. Cette arithmétique, dit-il, se divise en deux livres subdivisés eux-mêmes respectivement en deux et huit chapitres. Dans son *Histoire des Mathématiques en Chine et au Japon*, M. Yoshio Mikami y ajoute quelques détails (2). On y trouve, d'après lui, les quatre opérations fondamentales, la théorie des proportions, l'extraction des racines carrées et cubiques, les progressions arithmétiques et géométriques. Si on y joint le calcul des fractions, qui s'y lit certainement, et quelques généralisations relatives à l'extraction des racines, que Ricci déclare formellement y avoir données (3), c'est bien là, dans les grandes lignes, le contenu de l'*Epitome Arithmeticae practicae* de Clavius.

Mais, il faut dire un mot d'un autre ouvrage encore. Toujours

(1) *Opere storiche*, t. I. *Com.* L. 4, C. 15, N. 4, p. 396.
(2) Part. I, ch. 17, p. 113.
(3) *Opere storiche*, t. I. *Com.* L. 4, C. 15, N. 4, p. 396.

en 1614, et en même temps que l'*Arithmétique*, paraissait le traité des *Figures isopérimètres*. Dans ses *Mémoires*, Ricci l'attribue à Clavius (1), et tous les bibliographes l'ont répété après lui. Or, de quel ouvrage s'agit-il ? Clavius n'a rien publié sous ce titre.

Je n'ose me prononcer. Dans sa bibliographie, Pfister nous apprend que les *Figures isopérimètres* furent traduites sous la dictée de Ricci, par le docteur Léon. Puis, il continue comme il suit : « C'est un court traité de géométrie en 18 propositions, sur les surfaces et les volumes proportionnels de diverses figures planes et solides, commençant par le triangle et allant par degrés jusqu'au cercle et à la sphère ». Si ce renseignement fait assez clairement connaître, du moins en gros, le contenu du volume, il me paraît cependant trop vague pour essayer une identification.

En astronomie, Ricci n'a rien écrit de l'envergure de l'Euclide ni de l'Arithmétique pratique, car on ne peut évidemment pas attribuer pareille ampleur à son Catalogue d'étoiles, ni à ses opuscules sur les cadrans solaires ou sur l'usage de l'astrolabe. Mais c'est en astronomie, cependant, que de son œil perçant le missionnaire sut le mieux entrevoir l'avenir. Ses relations avec les dirigeants chinois lui avaient appris l'importance qu'ils attachaient, non seulement à l'établissement du calendrier, mais encore à la prévision des éclipses du soleil et de la lune, au mouvement des planètes, à l'apparition des comètes, bref à tous les phénomènes célestes. D'autre part, il s'était rendu compte de la décadence de l'astronomie officielle chinoise, et de l'ignorance crasse (*sic*) des fonctionnaires qui en étaient chargés.

Dans ses mémoires adressés à Rome, il insistait sur la nécessité d'envoyer en Chine quelques jeunes Pères rompus aux mathématiques, connaissant bien la théorie et la pratique des instruments d'observation, capables surtout de travailler à la réforme du calendrier. C'est ce qui ressort, par exemple, de sa lettre du 12 mai 1605, écrite de Péking au P. Jean Alvarez.

L'appel fut entendu. Pas assez tôt, cependant, pour que le grand fondateur de la mission de Chine pût en voir lui-même les féconds résultats.

Mais, je n'insiste pas. Ce n'est point le moment de résumer les travaux de ces hommes illustres, qui de Jean Adam Schall à

(1) *Loc. cit.* Comme le P. Tacchi Venturi le remarque en note, la chose ressort à l'évidence du contexte.

Félix da Rocha, en passant par Verbiest, par Pereyra et Thomas, par Grimaldi, Stumpf, Kögler et Hallerstein, ont dirigé avec tant de savoir et d'autorité, pendant près d'un siècle et demi, l'Observatoire de Péking.

H. Bosmans, S. J.

II

L'AGRICULTURE AUX ÉTATS-UNIS

Le profane qui présente à la Revue un article sur l'agriculture américaine se rend parfaitement compte qu'il doit à ses lecteurs la justification de son audace. N'ayant connu pendant longtemps travaux et charmes de la vie champêtre qu'à travers les descriptions classiques de quelques poètes villégiateurs, — Beatus ille qui procul negotiis... — il n'entend nullement imposer ou même offrir aux pionniers du Far-West ou aux affiliés du Boerenbond conseils et directions, mais esquisser simplement quelques aspects des providentielles richesses qui chaque année renaissent « sous le geste auguste du semeur ».

Malgré la lecture de nombreux ouvrages, le dépouillement de statistiques et un séjour prolongé dans les steppes d'outre-atlantique, l'auteur éprouve le besoin de s'appliquer le bénéfice des circonstances atténuantes. De plus, il se permet de mettre en garde le lecteur contre l'acceptation pure et simple de généralisations inévitables dans un travail de ce genre : elles exigent toujours un dénominateur. Si déjà, dans nos étroites limites, nous constatons entre la Campine, la Hesbaye et les Ardennes des différences si profondes, comment enfermer en une formule une appréciation d'ensemble quand il s'agit d'un territoire couvrant plus de quinze fois l'étendue de la France ?

Bien des facteurs influent sur la prospérité de l'agriculture : facteurs naturels, comme le sol, le climat, les espèces cultivées ; facteurs économiques : outillage et crédit agricoles, conditions de transport, aide gouvernementale, régime et étendue de la propriété. Quelle différence suggestive à ce point de vue entre l'« estate » anglais, l'ancien « mir » moscovite, la ferme française, l'« estancia » argentine, le « homestead » canadien ? Et le facteur

humain, n'est-il pas le plus important ? Sans lui, les avantages naturels ou économiques ne sont-ils pas compromis ? Le rural est-il travailleur, patient, persévérant, instruit ; a-t-il l'esprit d'initiative et d'association ? A des Ouraons du Bengale rentrés chez eux après la guerre et témoins des procédés de culture en usage en Europe, un missionnaire belge demande s'ils ne sont pas décidés à adopter des méthodes plus rémunératrices. Réponse : mais notre père, notre grand-père n'ont jamais travaillé ainsi, pourquoi changerions-nous ? Apprécier le rôle de ces divers facteurs serait s'embarquer dans une encyclopédie de l'agriculture ; l'auteur essaiera de mettre en relief une part au moins du rôle qui, dans la situation actuelle de l'agriculture américaine, revient à la nature, aux pouvoirs publics, au cultivateur.

Sans sous-estimer l'importance de notre production nationale (1), nous devons reconnaître que l'industrie domine notre activité économique. Aux États-Unis, malgré le développement rapide et colossal d'industries assurées d'un marché intérieur immense, élastique et défendu par des barrières douanières, l'agriculture enrôlerait plus de la moitié de la population si l'on considérait comme vouée aux travaux des champs celle des localités n'atteignant pas 2500 habitants. C'est là une classification trop simple ; mais, de 1880 à 1910, le nombre des « farms » ou exploitations agricoles a passé de 4 000 000 à 6 360 000 et, vu leur étendue, leur mise en valeur exige une main-d'œuvre qui, malgré les progrès des villes et des régions industrielles, fait des États-Unis une grande société démocratique rurale. Les estimations décennales de la valeur globale de la récolte inscrites dans le Census ne se prêtent pas, de l'aveu même de l'administration, à des rapprochements, et les chiffres de l'exportation annuelle des produits agricoles n'offrent plus, depuis six ans, à cause de la hausse capricieuse et anormale des prix, une base rationnelle de comparaison ; aussi, pour apprécier le plus exactement possible les richesses du sol, force nous est de nous contenter des statistiques de production.

En temps ordinaires, les États-Unis récoltent 70 millions de tonnes de maïs, 20 à 22 millions de tonnes de blé, 15 à 16 millions de tonnes d'orge, soit, pour le maïs 80 %, pour le blé 20 % et pour l'avoine 25 % de la récolte mondiale. A première vue,

(1) Les produits végétaux de nos fermes étaient évalués en 1913 à 1 milliard 250 millions de francs.

ce maïs ne semble avoir pour nous aucun intérêt, car de son énorme production, évaluée à 8 milliards de frs avant la guerre, à peine les Américains exportent-ils de 1 à 2 %. Mais ces beaux grains pointus et dorés ne constituent pas seulement pour le colon un plat favori sous forme d'épis grillés, bouillis, ou de pain jaunâtre servi chaud, nous les recevons sous forme de viande et de lard : une récolte manquée a sa répercussion immédiate sur les prix des bœufs et des porcs, le maïs étant la nourriture principale du « corned beef », des animaux destinés aux abattoirs.

Inutile d'insister sur l'importance du blé; la superficie y consacrée a doublé de 1875 à 1914, passant de 26 à 53 millions d'acres, mais depuis 1902, le pourcentage d'exportation se tient ordinairement plus près de 10 que de 20 %, qu'il dépassait avant cette date (1). L'augmentation rapide de la population et le développement des centres industriels expliquent cette diminution. De 1898 à 1902, pour une production passant de 530 à 750 millions de boisseaux, l'exportation tombe de 40 à 30 %, alors que de 1875 à 1900 elle monte de 25 à 40 %.

Les orges dont quatre États se sont fait une spécialité (Californie, Minnesota, Dakota N. et S.) sont parmi les plus belles du monde ; celles de Californie particulièrement sont plus estimées que les orges de Smyrne ; de 1898 à 1913, la récolte de Californie a triplé, passant de 12 à 34 millions de boisseaux. Cette céréale, exigeant moins de pluie que le blé, s'adapte facilement au climat sec des quatre États cités.

Par leur quantité, leur étonnante variété, leurs belles espèces, les fruits sont une des plus grandes richesses de l'agriculture américaine ; toute l'année, suivant la saison, apparaissent sur la table, soit au déjeuner, soit aux autres repas, pommes, poires, pêches, prunes, abricots, fraises, groseilles, framboises, raisins, myrtilles, oranges, citrons, pamplemousses. Des trains entiers de wagons frigorifiques chargés de paniers de fraises quittent San Francisco en avril et en mai. Vu les milliers de kilomètres à parcourir, la température est vérifiée en cours de route et des installations spéciales permettent de renouveler la provision de blocs de glace nécessaire. Il arrive parfois que, pour prévenir l'encombrement, des trains chargés de fruits quittent San-Fran-

(1) Pendant la guerre, grâce à des mesures prises par le gouvernement, à la fixation d'un prix minimum garanti, la production a augmenté, mais la superficie emblavée en 1920 a déjà diminué.

cisco, par exemple, vers l'Est ou le Nord sans destination précise; arrivés aux grands croisements, ils recevront leur direction définitive. La récolte commerciale de pommes, c'est-à-dire la portion destinée à la vente du fruit frais, atteint facilement 25 millions de barils. Les pêches dont la Californie seule produit la moitié, ont, en 1917, rempli 45 millions de boisseaux ; 80 % de cette récolte de Californie sont mis en boites ou vendus séchés. En une année moyenne, l'on peut compter sur 20 millions de caisses d'oranges dont les 3/4 viennent de Californie.

En 1914, la récolte des fèves, article très populaire aux États-Unis, était estimée à 125 millions de francs ; à la culture des pois sont consacrés 500 000 hectares ; à celle des pommes de terre, 1 500 000 hectares comme en France, ce qui est peu, et à celle de la betterave à sucre, qui date de 1880, 250 000 hectares, comme en France encore. Et le coton ? toute l'humanité jaune et brune, dispersée de Port Arthur à Aden, donc la moitié du genre humain, porte des haillons de coton ; les quelques nègres que tentent les vanités de la toilette achèteront du calicot et la race blanche qui apprécie les qualités spéciales de la laine, de la soie, du lin, compare leur prix à ceux de leur rival et utilise des quantités croissantes de coton. Aussi la production annuelle de 11 à 13 millions de balles, soit 60 % de la récolte mondiale, constitue pour les États-Unis, une richesse de toute première valeur. L'industrie textile du Lancashire, la seule avec l'industrie navale où les Américains et les Allemands n'aient pas dépassé les Anglais, se trouve sous la dépendance des planteurs yankees. La nécessité d'assurer le ravitaillement en pétrole de la flotte de guerre et de commerce a poussé le gouvernement britannique à s'intéresser pratiquement à l'extraction et au transport de ce combustible en devenant actionnaire de grandes compagnies ; de même, si les Anglais ont exécuté ces gigantesques travaux d'irrigation qui ont fait de la vallée du Nil une zone d'excellent coton expédié surtout à Liverpool, s'ils ont convoité, étudié, et finalement acquis la Mésopotamie où les vallées du Tigre et du Chatt-el-arab, pourvues d'eau par des barrages analogues à ceux d'Égypte, livreront en masse le même article, c'est parce qu'ils craignent la maîtrise de leurs cousins sur le marché du coton et redoutent l'absorption croissante par les usines américaines d'une matière première si recherchée.

Les Indes produisent bien 4 millions de balles environ, mais, sauf celui des environs de Madras, ce coton de fort mauvaise

qualité, est utilisé par les filatures de Bombay et n'est acheté que par des pays, comme le Japon, dont l'industrie textile se borne aux articles bon marché.

La récolte américaine, au contraire, abstraction faite des espèces fines et soyeuses qui peuvent rivaliser avec les plus réputées du Nil, présente néanmoins dans son ensemble un coton très apprécié grâce à la longueur, la blancheur, l'élasticité, la résistance de ses fibres ; aussi, puisque celui du Turkestan n'existe que pour l'industrie russe et que l'Égypte produit à peine 1 500 000 balles, l'Angleterre, comme les autres pays filateurs, voudrait échapper au quasi-monopole de ce fournisseur indispensable.

La valeur de cette récolte de coton ne tient pas seulement à l'abondance et aux qualités des légères touffes blanches dont la cueillette, de juillet à novembre, suivant la latitude, se fait trois fois dans chaque région ; les graines cachées dans cette chevelure soyeuse et arrachées à la machine, donnent une huile utilisée dans la fabrication de diverses margarines, les conserves de poisson, etc. ; leurs tourteaux riches, azotés, constituent pour le gros bétail et les vaches laitières une excellente nourriture favorisant la production du lait et le développement du muscle.

De 1909 à 1913, la moyenne quinquennale de l'exportation américaine en tourteaux de coton et de lin atteint 850 000 tonnes, celle de l'huile de coton 1 500 000 hectolitres. En 1913, les États-Unis ont broyé 5 à 6 millions de tonnes de graines de coton.

A l'époque de la déclaration d'indépendance, ils récoltaient 5000 balles de coton, 500 000 en 1822, 5 millions en 1860, 10 millions en 1902 ; depuis lors, nous en verrons plus loin les causes, l'augmentation s'est ralentie.

Aucun pays ne livre ou n'exporte une quantité de tabac égale à la moitié de ce que récoltent ou exportent les États-Unis. Malgré le grand nombre des concurrents (les Indes, Java, Cuba, les Philippines, le Brésil, la Russie, la Hongrie, la Turquie), ils possèdent le tiers de la récolte mondiale.

Ils sont aussi les premiers producteurs de houblon ; mais les deux pays les plus riches en graine de lin, l'Argentine et les Indes, consacrent chacun à cette graine oléagineuse une superficie presque double de celle que les États-Unis lui réservent : 3 millions d'acres contre 1 500 000 (1).

(1) Pour motif d'ordre et de simplicité, nous laissons ici de côté les immenses richesses qui aux États-Unis plus que partout ailleurs sont insépa-

Les États-Unis possèdent donc une grande variété de produits alimentaires et de matières destinées à l'industrie et ils offrent ainsi chaque année à leurs compagnies de chemins de fer et aux sociétés de navigation un fret dont, par des bulletins hebdomadaires et mensuels, elles cherchent à connaître le tonnage exact en vue de mesurer l'intensité du trafic futur et de prévoir le taux de leurs recettes. Ces avantages, cette richesse, les États-Unis les doivent d'abord à l'étendue de la zone ensemencée qui les met ainsi à l'abri d'une mauvaise récolte totale.

Dans l'immense quadrilatère compris entre les deux océans, le Canada et le Mexique, le terrain mis en valeur, l' « improved land », représente, d'après le dernier census, 27 % de la superficie totale, soit, en chiffres ronds, 280 millions d'hectares. Dans son ouvrage *Place of agriculture in reconstruction* M. J. Morman estime qu'en 1915, les « farms » comprenaient 878 millions d'acres, et de ce « farm land » total, 55 % seulement étaient exploités. Ces deux statistiques concordent.

La position géographique de leurs zones de culture donne aux Américains une écrasante supériorité sur leurs voisins du Nord. La superficie du Far-West canadien et les nouvelles terres colonisées dans l'Abitibi et d'autres régions de la province de Québec autorisent les plus beaux espoirs, mais, en dehors du blé et de l'avoine, quels produits ces champs livrent-ils en grandes masses ? A cause de la longueur et de la rigueur de l'hiver, impossible pour le Canada d'atteindre ou le tonnage ou la variété de la récolte américaine. Déroulant du 49e au 26e degré de latitude, donc de Paris au sud des Canaries, ses terres cultivables qui des Alléghanys au 100e méridien, soit de Bordeaux à Belgrade, forment, peut-on dire, une zone d'un seul tenant, assurée entre ces limites d'une humidité suffisante sous un ciel rarement voilé pendant la période des travaux agricoles, la steppe américaine, mieux que le tchernozium de l'Ukraine, ou la puszta hongroise, livre, grâce à ce climat semi-tropical, des millions de tonnes et de boisseaux de produits alimentaires variés et de matières industrielles recherchées dont le prix peut facilement rémunérer le travailleur. Cette immense prairie centrale est aux États-Unis la région agricole par excellence, d'altitude modeste, inférieure à 300 mètres, de terre sur-

rables de l'exploitation agricole ; les animaux de pâturage, d'étable et d'écurie dont le nombre extraordinaire, les qualités, les produits variés et les services s'évaluent en milliards de dollars.

tout argileuse, recouverte d'herbes sauvages au temps où les tribus indiennes s'y livraient à leurs parties de chasse romantiques, les arbres faisant rideau le long des rivières, sauf dans le Sud et l'Est où l'humidité a entretenu une belle végétation forestière. Le sol cultivable y atteint des profondeurs minima de 15 à 30 centimètres et, par endroits, de 3,5 et même 7 mètres. Le « corn and wheat belt » formé par l'Iowa, l'Illinois, l'Indiana, l'Ohio présente une formation si régulière, des horizons si lointains que plusieurs Américains dont l'enfance s'était autrefois passée dans ces plaines de céréales, ont avoué leur étonnement quand pour la première fois ils se sont trouvés en face d'une gorge ou d'un rocher.

Toutefois, la bordure occidentale de ces terres, le long ruban qui du Canada au Mexique court aux pieds des Rocheuses entre le 100e et le 105e méridien, constitue une zone de 300 à 2000 m. d'altitude, sèche, pauvre, dont l'exploitation exige des méthodes de culture spéciales. Au delà de l'épaisse et haute muraille des Rocheuses et de leurs plateaux couvrant à peu près 15 degrés de longitude, dans les couloirs et les vallées resserrées le long du Pacifique entre les chaînes côtières, le rempart des Cascades et la Sierra Nevada, un sol profond et fertile, une humidité presque suffisante assurent à la Californie, à l'Orégon, au Washington des vergers superbes, de riches vignobles, des champs de céréales et de légumes et, sur les flancs de leurs montagnes, des forêts de conifères dont le diamètre et la hauteur extraordinaires ne sont atteints nulle part. Mais la couleur sombre de ce feuillage, l'immobilité de ses branches à aiguilles enlèvent à ces paysages la note de gaieté que nous trouvons dans le frissonnement et la couleur de nos hêtres et de nos chênes majestueux, d'autant plus que trop fréquemment de désastreux incendies de forêts n'offrent à l'œil sur des milliers d'hectares que le tableau lugubre de souches calcinées. A l'Est, au delà des Alléghanys, la zone qui, entre leurs pentes boisées et la côte de l'Atlantique, s'étend du Cap Cod à la Floride et longe le rivage du Golfe, possède un sol riche mais aussi de grandes plaines sablonneuses, et en Caroline, en Floride, au Texas, d'énormes marécages, foyers de malaria. La bordure septentrionale qui, partant des États de la Nouvelle-Angleterre, longe les lacs en passant à travers le Michigan, le Wisconsin et le Minnesota, est une région de climat rude, de roches cristallines, d'altitude supérieure à 300 m.; elle comprend les plateaux déserts du Maine, les gorges du Vermont, le pays sauvage de l'Adirondack, un sol souvent pauvre, pier-

reux, caillonteux, tantôt troué de lacs, tantôt couvert de sapins, mais elle se termine au Michigan et au Minnesota par les plus riches gisements de fer et de cuivre du monde.

Habitués à ne voir dans le fermier américain que le pourvoyeur de l'Europe, nous le jugeons naturellement cossu, jouissant d'un confort éclipsant l'aisance relative de quelques-uns de nos cultivateurs. Nous oublions les difficultés naturelles, économiques ou financières qui, là-bas comme ailleurs, ne peuvent être surmontées que par le travail pénible et l'effort intelligent. La grande steppe où ondulent les champs de blé et où éclate la blancheur des capsules de coton n'est pas le pays de cocagne que de jeunes aventuriers entrevoient dans leurs rêves. Cyclones, sécheresses, gelées, inondations, invasions d'insectes, pour nous borner aux phénomènes naturels, causent chaque année, sur de grandes étendues, ruines et dommages évalués à des centaines de millions de dollars. Deux de ces phénomènes méritent de retenir un moment notre attention : ceux dont le travail des agriculteurs a renforcé la violence ou fait sentir davantage les inconvénients.

La spécialisation des cultures qui, dans certaines régions des États-Unis, s'est introduite comme dans l'industrie et que facilite l'extension du réseau des voies ferrées, rompt l'équilibre que la Providence maintient dans la nature : à un moment donné, certains insectes qu'abrite ou nourrit le feuillage de telle plante deviennent plus nombreux que leurs ennemis naturels, et dans cette lutte pour la vie à chances inégales, l'espèce affaiblie disparaît ou ne rend plus aucun service appréciable. La forte chaleur des mois d'été favorise d'ailleurs la multiplication de ces insectes. L'Américain, que son esprit pratique et positif rend fort sympathique aux statistiques, a cherché à dresser celles des dommages causés aux récoltes par ces luttes implacables d'ennemis naturels, comme nos commissions évaluent les dommages que le choc des armées de la barbarie teutonne a infligés aux alliés. Dans sa monographie *Losses due to insects,* C. Marlatt estime à 650 millions de dollars les pertes subies en 1907 du fait du phylloxéra, de la teigne, de vers, de coléoptères et d'hémiptères dévastateurs. Sans le charançon qui a envahi l'aire du coton, la récolte depuis 25 ans aurait doublé ; elle atteindrait aujourd'hui au moins 20 millions de balles. Naturellement ces statistiques sont exposées à trop se rapprocher de la conjecture, et leurs divergences s'expliquent par ce fait que quelques-unes tiennent compte aussi des dommages subis par les forêts ou

causés par des animaux comme le lapin et le mulot. Mais plus d'une fois, à quelque chose malheur fut bon. En Floride et dans les régions voisines, le danger de la monoculture n'était pas réalisé par le fermier trop insouciant ; des gelées désastreuses le lui révélèrent à ses dépens et, à côté des fruits l'on cultiva désormais légumes, maïs et coton. Dans la région agricole du centre, dans la steppe à froment, le blé, produit très rémunérateur ou « money crop » fut cultivé, sans rotation, des années durant : les bataillons de « chinch bug » qui l'attaquaient en devinrent plus nombreux et redoutables jusqu'à ce que leurs ravages introduisirent l'orge, le maïs, le tabac et d'autres articles. M. Howard, entomologiste distingué, estimait en 1887, à 60 millions de dollars les dommages causés par le « chinch bug » aux neuf États infectés.

La lutte organisée contre ces insectes nous permet de montrer les grands services dus à l'intervention gouvernementale. Établi d'après un plan tout autre que celui de bureaux hiérarchisés et paperassiers, le Ministère de l'Agriculture, créé en 1862, suppose chez le cultivateur l'initiative, le désir du progrès. Il l'instruit, le dirige, le renseigne périodiquement. Parmi les départements du Ministère, désignés sous le nom de bureau, celui de zootechnie est chargé non seulement de la surveillance des abattoirs et de celle du bétail aux frontières, mais de découvrir les maladies contagieuses, leurs remèdes, les méthodes d'alimentation rationnelles. La lutte, menée par ce département contre la tique depuis 1906, la lutte dirigée par lui, et victorieusement, en vue d'enrayer par un sérum le choléra des porcs, celle plus récente commencée contre la tuberculose qui s'attaque au cheptel américain, montrent suffisamment l'orientation de son activité. Le bureau des cultures étudie la physiologie des plantes, l'introduction de plantes nouvelles, veille à la distribution et à la qualité des semences ; des spécialistes de ce département ont rapporté du Turkestan, du Mexique, de Tunisie, du Japon, du Caucase, de Suède, des espèces d'orge, de blé, de cactus, d'avoine, de riz, aptes soit à mûrir plus tôt, ou à échapper à certains insectes, ou à renforcer par leurs racines la résistance des digues, ou à résister à la sécheresse. Depuis 1905, une section spéciale est chargée du « dry farming ». Même genre de travaux pour les bureaux de météorologie, des forêts, du sol, d'entomologie, des routes. Leurs travaux ne sont pas purement théoriques, car une partie du personnel travaille sous une direction rayonnant de Washington dans des stations rurales, dispersées selon les besoins

et les nécessités. C'est en pleine nature que se font les observations, que se poursuivent les essais, les recherches. A Washington, chaque bureau est dirigé par un savant spécialiste à qui reviennent à la fois l'initiative et la direction des travaux scientifiques et la gestion administrative (1).

De superbes vergers de citronniers et d'orangers embaument le Sud de la Californie, leurs suaves bouffées avertissent le voyageur que le désert de l'Arizona est franchi. Cette monoculture subit vers 1880 des ravages énormes du fait de la multiplication d'une cochenille. Après enquêtes, recherches, études, dirigées par le directeur du bureau d'entomologie, un fonctionnaire de ce département s'embarqua pour l'Australie où les ennemis naturels de cette cochenille devaient exister, car elle y était réputée inoffensive. Comme en 1918, lors du transport des régiments américains, de leurs munitions et équipages, il fallut organiser celui de ces troupes d'assaut australiennes et leur procurer pendant un voyage de trois semaines à travers le Pacifique des cochenilles vivantes comme nourriture. Sous le climat de Californie qui heureusement leur rappela suffisamment celui de Sydney, elles se multiplièrent et les planteurs furent heureux d'héberger ces compagnies victorieuses. Récemment, dans l'Utah, des travaux d'irrigation ont développé beaucoup la culture de la luzerne ou alfalfa, et, pour triompher du charançon qui en compromettait le succès, le bureau d'entomologie y introduisit un insecte napolitain.

Depuis longtemps, les champs de coton sont ravagés ; par la pulvérisation d'un liquide à base d'arsenic, on tue la « cotton caterpillar » ou chenille qui en ronge les feuilles. Mais le grand ennemi est un charançon minuscule, le « cotton boll weevil » qui loge ses œufs dans la capsule où les jeunes se nourrissent. On estime que les deux tiers de la région du coton sont envahis par ce barbare. Jusqu'à présent le bureau d'entomologie a tout essayé, mais sans succès, et voici que ce brigand insaisissable, arrivé vers 1892 d'un Mexique troublé, se voit renforcé par un « pink boll worm » fraîchement débarqué d'une Égypte en effervescence !

Les résultats des travaux du Ministère ne sont pas réservés à des annales ou archives qui dormiront dans des rayons poudreux. C'est le service des publications qui est chargé de les

(1) Au budget de 1914, 18 millions de dollars étaient prévus pour le Ministère de l'Agriculture ; dans celui de 1919, les crédits atteignent 27 875 000 d.

répandre dans le monde des agriculteurs. En 1918, par exemple, année de guerre, 2546 publications diverses ont été lancées représentant un total de plus de 97 millions d'exemplaires : 340 de ces publications étaient des ouvrages réédités. Les unes ont un caractère technique, beaucoup sont des brochures de vulgarisation. Elles comprennent l'ANNUAIRE DU MINISTÈRE, le FARMER'S BULLETIN, le JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH, le WEEKLY NEWS LETTER récemment édité et devenu l'organe officiel envoyé aux chambres de commerce, aux bibliothèques, aux journaux, aux agronomes.

A ces publications s'ajoute le travail énorme de la correspondance. Fermiers, éleveurs, commerçants, expéditeurs, ingénieurs, assaillent le Ministère de milliers de demandes, de questions (1), de plaintes, d'échantillons à examiner. Après classement, le bureau répondra en faisant connaître, par exemple, à l'intéressé les signes révélateurs de la présence d'un insecte dangereux et le numéro du bulletin que le bureau lui enverra gratis sur demande, si les charançons dévastateurs ont été découverts.

Si l'armée d'insectes a vu ses bataillons assez souvent renforcés à cause des méthodes de culture, c'est la population ou plus exactement son rapide accroissement et le mode préféré d'exploitation qui ont amené la lutte contre les inconvénients de la sécheresse. De 1890 à 1900, la population passe de 61 à 76 millions et atteint en 1919 un peu plus de 106 700 000 habitants. Or, puisque la culture reste extensive, l'avant-garde des fermiers atteint et franchit naturellement la limite de la zone aride, dépasse le fameux méridien du 100e degré. Cette zone, évaluée par M. Van Hise, de l'Université du Wisconsin, aux deux cinquièmes des États-Unis est loin de représenter une perte sèche. Indépendamment de ses richesses minérales extraordinaires, elle offre aussi à l'agriculture des districts cultivables mais dont il est impossible de préciser la superficie, vu le perfectionnement continuel des méthodes permettant de triompher de la sécheresse.

(1) Échantillon de demande adressée par une compagnie de chemin de fer : « Nous avons reçu en mai dernier en consignation un chargement de fèves (beans) ; un mois plus tard, elles étaient arrivées à destination. Le consignataire refuse d'en prendre livraison, parce qu'elles sont charançonnées et en piteux état. Le vendeur nous poursuit pour négligence dans le transport, affirmant que sa marchandise était intacte. Que pouvez-vous nous dire à ce sujet ? » (YEARBOOK OF AGRICULTURE, 1918).

L'irrigation par puits et canaux est loin d'être inconnue aux États-Unis. Dans les Dakotas et la vallée du Missouri, les puits artésiens sont nombreux et de son « car » le voyageur voit fréquemment se dresser à l'horizon les aéromoteurs des fermes. Dans l'ouest, quelques modestes entreprises d'irrigation par canaux avaient été organisées par des coopératives, mais l'invasion méthodique de la zone sèche et les grands travaux d'irrigation auxquels s'est intéressé le gouvernement datent d'une vingtaine d'années. Dans cette zone, les Américains ne rencontrent ni un fleuve comme le Nil qui chaque année, à date fixe, apporte le supplément d'eau nécessaire aux champs de coton et de cannes, ni des fleuves comme l'Indus et le Gange qui par les pluies diluviennes des moussons et la fonte des neiges dans l'Himalaya assurent une crue forte et prolongée ; dans la région des Rocheuses, à cause de l'extrême rareté des pluies et de la forte pente des cours d'eau, les crues sont rapides, violentes, de courte durée et le débit des rivières baisse avant que les besoins de l'agriculture ne soient satisfaits. De là, dans les vallées du Missouri, de la Platte, du Yellowstone, de la Columbia, dans celles du Colorado, de l'Idaho, de la Californie, de l'Arizona, le système de barrages construits par le gouvernement. En 1902, Roosevelt signa la « Reclamation law » ou loi de la reprise, de la récupération de l'ouest, qui réservait le produit de la vente des terres publiques dans les Etats arides et semi-arides pour constituer un capital de travaux d'irrigation. Un barrage appuyé aux rives escarpées d'un fleuve encaissé, et présentant son front convexe aux eaux d'amont, transforme en réservoir un bief ou une section du cours supérieur. De ce réservoir, rayonnent des canaux ; sur ces canaux s'embranchent des fossés ; ces fossés alimentent des rigoles ; et ce réseau entretient l'humidité sur des milliers d'hectares. Le barrage de la Platte, de 60 mètres de haut, arrose 250 000 hectares ; dans l'Arizona, à Phénix, le barrage Roosevelt, de 85 mètres de haut, transforme un bief de la Salt River en un lac de 6000 hectares et en arrose plus de 120 000. Ces barrages assurent aussi la force motrice et la lumière aux usines ou aux localités voisines, mais exigent un personnel chargé de la surveillance, du nettoyage de ces installations et canaux, et une législation sur l'usage, le prix, le débit de l'eau réglé d'ailleurs d'après le genre de cultures.

Le sol de ces terrains est ordinairement très riche, parce que les déchets volcaniques, le phosphore, la potasse qu'ils contiennent, n'ont pas été comme ailleurs dilués ou emportés par

des pluies fréquentes ou torrentielles. Grâce à la forte chaleur de ces latitudes et du climat continental combinée avec une humidité méthodiquement distribuée, les cultivateurs ont d'abondantes récoltes de luzerne, de céréales, de fruits, de betteraves à sucre ; celles-ci furent appelées au Congrès de l'Irrigation en 1906 « the great industry of arid America ». La culture des cotons fins d'Égypte récemment tentée y a fort bien réussi ; les plantations dont les $^{9}/_{10}$ se trouvent dans la vallée de la Salt River couvraient 35 000 hectares en 1918 et ont donné, en 1917, 16 000 balles contre 900 en 1913.

« Par l'irrigation, dit M. Mc Gee, dans sa monographie *Soil erosion*, nous récoltons 100 mesures de blé là où ne poussait que le maigre brin d'herbe, et nous voyons paître 100 vaches laitières là où erraient à l'aventure une ou deux antilopes. » En 1918, les récoltes obtenues sur le territoire arrosé par les barrages Roosevelt et le barrage Yakima (Washington) étaient évaluées à 13 et à 8 millions de dollars, soit respectivement 72 et 120 dollars l'acre.

En 1909, 9000 exploitations agricoles étaient irriguées par les travaux du gouvernement, et 24 000 en 1917. Aussi le terrain irrigué vaut (statistiques de 1910) 50, 500 et même 1000 dollars l'acre, soit 5 et 9 fois plus que le champ commun. Ce sont les terrains propres à la culture des fruits qui atteignent les plus hauts prix.

En appréciant la richesse des récoltes américaines, ne nous laissons pas éblouir par les millions de boisseaux, de tonnes et de balles dont les Yankees sont néanmoins justement fiers ; leur production par hectare est bien inférieure à la nôtre.

Cette situation, les motifs actuels de l'améliorer et les moyens de le faire, nous les étudierons dans un prochain article.

J. Charles, S. J.

III

LE PÉTROLE (1)

Le pétrole brut est pour la Société moderne une richesse énorme; on en retire la gazoline, employée pour les moteurs d'automobiles et d'aviation, le pétrole lampant, qui est resté le mode d'éclairage préféré dans les campagnes éloignées, et enfin, l'huile minérale, le plus estimé de tous les lubrifiants. Dans les pays où manque le charbon, le pétrole brut le remplace avantageusement, et de plus en plus les navires de guerre, et même ceux de commerce, l'utilisent de préférence à la houille pour le chauffage des chaudières. Le traitement des sous-produits provenant de sa distillation fractionnée forme le point de départ d'une industrie chimique nouvelle, à peine naissante, qui déjà donne les plus belles promesses d'avenir.

L'état liquide dans lequel le pétrole brut se présente lui assigne une place à part dans les produits du sous-sol et en simplifie de beaucoup l'extraction et la manutention. Les gisements importants qu'on a découverts ont permis de développer largement son emploi et d'en user sans restriction. Cependant, la consommation énorme qu'on en a faite, surtout durant la grande guerre, commence à entraîner des effets sensibles et l'épuisement des sources actuelles dans un avenir qui ne paraît plus très éloigné doit retenir l'attention de l'économiste et de l'ingénieur avertis.

Le pétrole non raffiné est un liquide huileux d'aspect fort différent suivant les localités d'où il provient. Au point de vue chimique, c'est un composé extrêmement complexe d'hydrocarbures divers renfermant en petite quantité des sulfures ainsi que des produits oxygénés et nitreux. Il se présente comme une mixture de liquides différents dissous les uns dans les autres et contenant en solution du gaz naturel et des corps solides. Exposé à l'air il s'épaissit graduellement; il abandonne d'abord son gaz naturel, puis successivement par évaporation ses composés liquides, les plus volatils disparaissant les premiers. Il ne reste finalement qu'un résidu solide qui permet de classer les pétroles

(1) D'après General Electric Review, mars 1920.

en deux catégories distinctes, suivant qu'ils sont à base de paraffine ou d'asphalte. Toutefois, quelques types de pétrole dits intermédiaires, échappent à cette classification et laissent un dépôt contenant une égale proportion de ces deux substances. Il est fort probable que les gisements d'asphalte de Trinidad et ceux d'ozokérite de Galicie et de l'Utah, ne sont autre chose que le résultat d'une évaporation prolongée de lacs de pétrole. Ordinairement on rencontre les dépôts de pétrole dans le sol; ils saturent d'immenses étendues de sable ou de rochers poreux et présentent tous les caractères des nappes d'eaux souterraines avec lesquelles d'ailleurs ils sont fréquemment associés. Ces masses de pétrole ne restent pas, en général, à place fixe; elles tendent à s'élever à travers les différentes couches géologiques jusqu'au moment où elles se trouvent arrêtées dans leur mouvement ascensionnel par des rochers imperméables. La prospection des gisements pétrolifères est donc avant tout, au point de vue scientifique, une étude de la nature et de la disposition des roches d'un terrain, permettant de se rendre compte de la marche qu'a pu suivre une nappe de pétrole dont on soupçonne l'existence et de la position finale où elle s'est arrêtée. L'investigation rationnelle et scientifique d'une région pétrolifère permet ainsi de fixer avec un minimum d'erreur les endroits où il y a lieu de faire les sondages pour la recherche de ce précieux liquide. Cependant, à cause même de son caractère migrateur, on n'est jamais absolument certain que l'on rencontrera le détrole. Malgré toute, la science des géologues spécialistes en cette matière, le hasard et la chance jouent encore un rôle important pour le creusement des puits et la découverte de gisements nouveaux.

Peu de questions en géologie ont donné lieu à autant de controverses que celle de l'origine du pétrole. Aujourd'hui, on admet assez généralement qu'il serait de provenance organique et représenterait un produit de distillation naturelle de plantes et d'animaux ensevelis dans les limons d'anciens lacs et marais. On connaît, en effet, de grandes masses rocheuses qui ne sont autre chose que des débris d'innombrables organismes, comprimés, durcis et pétrifiés. Il est certain que pendant leur formation il dut y avoir production d'une importante quantité d'huile, car c'est précisément par l'action combinée de la chaleur et de la compression que celle-ci se retire des substances animales et végétales. Ces sédiments de nature organique sont d'ailleurs suffisamment nombreux et assez répandus sur la surface du

globe pour qu'on puisse y rattacher l'explication de la formation des dépôts pétrolifères.

Bien que l'on trouve en beaucoup d'endroits des traces de pétrole donnant lieu à de petites exploitations locales, les gisements importants, qui seuls présentent de l'intérêt au point de vue commercial, sont en petit nombre et nettement définis. Malgré les recherches très actives entreprises pour découvrir de nouveaux territoires pétrolifères, l'approvisionnement complet du monde reste presque entièrement assuré par trois pays seulement : les États-Unis, la Russie et le Mexique. La production des autres pays est pratiquement négligeable en comparaison de ceux-ci, ainsi qu'il résulte du tableau ci-dessous, se rapportant à l'année 1916.

États-Unis	300	millions de barils	
Russie	70	»	»
Mexique	40	»	»
Indes Hollandaises . .	13,2	»	»
Roumanie	12	»	»
Indes.	8	»	»
Galicie	6,5	»	»
Tous les autres pays . .	8	»	»

Comme on le voit, ce sont surtout les États-Unis qui sont les grands pourvoyeurs de pétrole du monde entier. Le développement de leur production entre 1881 et 1917 est donné dans le tableau suivant qui fournit en même temps les chiffres relatifs à la production mondiale.

ANNÉES	PRODUCTION MONDIALE			PRODUCTION DES ÉTATS-UNIS		
1881	27	millions de barils		25	millions de barils	
1885	30	»	»	24	»	»
1890	75	»	»	48	»	»
1895	100	»	»	50	»	»
1900	150	»	»	60	»	»
1905	225	»	»	125	»	»
1910	325	»	»	200	»	»
1915	425	»	»	295	»	»
1917	465	»	»	365	»	»

Les États-Unis comprennent plusieurs régions pétrolifères que l'on peut classer d'une manière générale en deux groupes d'importance sensiblement égale : celui du Sud-Est et celui de la Californie.

Le pétrole est retiré de la terre par pompage, au moyen de puits de profondeur plus ou moins grande, creusés ordinairement par la méthode de battage au trépan qui, pulvérisant les roches, y découpe son chemin jusqu'à la profondeur voulue. Quand la nature du terrain l'exige, on revêt les parois des puits d'un garnissage métallique, surtout employé lorsque l'on doit se mettre à l'abri de venues d'eaux. Le diamètre de ce cuvelage va en diminuant avec la profondeur. En vue de faciliter le travail de fonçage, en particulier pour retirer aisément le trépan et les tiges, on érige au-dessus du sol à l'endroit du puits, une construction en bois d'assez grande hauteur, connue sous le mot anglais de « derrick » qui donne un aspect particulier et typique aux régions pétrolifères.

La profondeur des puits est essentiellement variable ; il en est qui n'ont que quelques dizaines de mètres, et dont le creusement ne demande que peu de semaines. D'autres, au contraire, de plusieurs centaines de mètres, exigent des mois d'un travail opiniâtre et acharné avant de pouvoir être mis en exploitation. La plus grande profondeur à laquelle on soit descendu jusqu'à présent est d'un peu plus de 2000 mètres. Toutefois, de semblables dimensions sont tout à fait exceptionnelles.

Avant la guerre, le coût du creusement d'un puits variait, suivant les difficultés et le genre de terrain rencontré, entre 15 et 225 francs le mètre L'avancement journalier était compris entre 3 et 20 mètres ; il est d'autant plus faible que l'on se trouve à grande profondeur. Le travail de préparation d'un puits est une opération longue et coûteuse : ces chiffres permettent de s'en rendre compte. En temps de paix, elle consommait aux États-Unis le douzième de la production totale de l'industrie sidérurgique.

Quand on arrive, dans le travail de fonçage, à la couche de pétrole, le gaz naturel qui s'y trouve dissous sous pression, projette le liquide au dehors avec une grande violence et en peu de temps une quantité énorme s'en répand autour du puits. Si on ne dispose pas immédiatement de moyens pour l'emmagasiner, elle forme un petit lac et une bonne partie en est alors perdue par érosion, par évaporation et souvent aussi par incendie accidentel. Tous les puits ne présentent cependant pas d'abord cette énergie de débit. Beaucoup ne contiennent qu'une proportion insuffisante de gaz naturel et il faut dès le commencement de l'exploitation pomper le liquide. Ce mode d'extraction est nécessaire partout où la proportion de gaz est devenue trop

faible pour assurer automatiquement le débit de la nappe souterraine.

Le rendement d'un puits atteint très rapidement une valeur maximum ; il diminue ensuite graduellement pour s'annuler au bout d'un laps de temps plus ou moins long. Il suit une loi si nettement définie que, pour une région pétrolifère déterminée, il est possible de tracer à l'avance l'allure de la courbe de débit d'un sondage nouveau.

Pendant la période de décadence, on peut ranimer momentanément l'activité d'un puits en provoquant au fond de celui-ci des explosions de charge de nitroglycérine. La vie d'un fonçage, c'est-à-dire le temps pendant lequel il est à même de fournir du pétrole, varie, d'après les régions, entre quelques mois et vingt ans au plus ; en Pensylvanie elle est, en moyenne, de douze ans.

Quand un puits est épuisé, cela ne signifie pas du tout qu'il n'existe plus de pétrole dans le gisement. Une grande partie de celui-ci se trouve encore disséminée dans les pores et les espaces capillaires des rochers. Il est possible de l'en chasser au moyen d'injection d'air comprimé, et par ce procédé on est arrivé à prolonger l'existence de régions pétrolifères qu'on aurait dû abandonner autrement. Le succès d'une entreprise importante exige qu'elle ait constamment de nouveaux puits en forage de façon à maintenir toujours une réserve suffisante pour parer aux diminutions de débit des puits exploités. C'est la raison pour laquelle les compagnies s'attachent des géologues spécialistes expérimentés qui recherchent continuellement les endroits les plus propices à l'établissement de nouvelles exploitations. Cependant, dans une large mesure, la découverte de gisements de pétrole se fait encore beaucoup par des aventuriers. Se rapportant à des notions empiriques ou à des légendes locales, ils vont creuser des puits dans des endroits où les géologues ne penseraient jamais trouver du pétrole et risquent sur une chance tout leur avoir. C'est la fortune, s'ils réussissent, et la ruine, si, par malheur, ils échouent dans leur tentative.

Le prix du pétrole brut aux lieux d'extraction dépend de sa qualité et de la distance aux centres de raffinage et de consommation. Les types paraffineux de faible poids spécifique, comme on en trouve surtout en Pensylvanie, sont les plus recherchés, car ils donnent une forte proportion des produits actuellement beaucoup demandés. Ceux à base d'asphalte, provenant principalement des régions de la Californie, sont moins appréciés et

ne valent guère que le quart des bonnes qualités du premier type. Ainsi, en 1915, les meilleurs pétroles pensylvaniens valaient 1,50 dollar le baril et, fin 1917, 3,75 dollars, alors que pendant cette même période les pétroles californiens de qualité courante passaient de 35 cents à un dollar au baril.

Une des caractéristiques les plus remarquables de l'industrie pétrolifère, est que le produit brut est envoyé directement des lieux de production par des canalisations spéciales, vers les raffineries, les centres de vente, et même jusqu'aux ports de mer. Cette méthode de transport est la plus pratique et la moins coûteuse pour un produit liquide bon marché, consommé en aussi grande quantité que le pétrole. Les conduites des États-Unis ont une longueur totale de plusieurs milliers de kilomètres et forment un immense réseau qui s'étend sur une grande partie du pays. Il consiste en une série de lignes principales sur lesquelles viennent se greffer des lignes secondaires ; une des plus longues est celle qui relie Oklahoma aux rives de l'Atlantique en traversant l'Illinois. L'ensemble des lignes principales seules atteint un développement de 46 400 kilomètres environ. Le diamètre des tuyaux employés varie de 50 à 300 millimètres. Ces canalisations, faites en tôle de fer, sont généralement disposées à faible profondeur sous le sol. A des intervalles de 25 à 50 kilomètres suivant la viscosité du liquide, se trouvent des stations de pompage destinées à en assurer le déplacement. Quand on a affaire à des pétroles lourds de grande viscosité, comme ceux de Californie, il est nécessaire de procéder à un réchauffage à chaque station de pompage, pour en faciliter l'écoulement. Les lignes vont par le chemin le plus direct possible et suivent les dénivellations du sol. Une canalisation de 200 millimètres de diamètre pèse environ 39 kilos par mètre et a une capacité de 250 barils au kilomètre. Ce chiffre montre que simplement pour tenir les conduites remplies et en assurer le fonctionnement, il faut des millions de barils.

L'emploi et la généralisation de ce mode de transport tout spécial ont eu une grande répercussion sur le développement de l'industrie pétrolifère. Ils l'ont rendue tout à fait indépendante des chemins de fer et des voies d'eau et ont permis d'amener à très bon compte le pétrole en des endroits fort éloignés des lieux production. C'est ainsi que les raffineries ont pu s'installer aux de endroits les plus avantageux au point de vue de l'écoulement de leurs produits, sans qu'on dût s'inquiéter beaucoup de leur situation par rapport aux régions pétrolifères. Une très faible

partie seulement du pétrole brut est transportée par chemin de fer. Le plus grand nombre des 60 000 wagons-citernes qui circulent sur les lignes américaines servent exclusivement pour les produits raffinés : gazoline, kérosène, huile minérale, etc. Pour les expéditions outre-mer, on utilise des navires spéciaux en acier comportant une série de compartiments séparés, dans lesquels on pompe directement soit le pétrole brut, soit des produits raffinés. Ces navires ont joué un rôle important pour le développement commercial du pétrole dans le monde ; en particulier, ils ont ouvert aux pétroles mexicains des débouchés inaccessibles autrement.

Le pétrole brut peut être utilisé directement comme combustible et près du cinquième de la production totale est employé de cette façon. La plus grande partie cependant, avant d'être livrée à la consommation, passe aux raffineries où on en détermine la séparation en différents produits de valeur marchande plus grande que le liquide brut et adaptés chacun à des emplois et à des usages bien définis.

On classe généralement en quatre catégories les résultats de la distillation du pétrole et on distingue : la gazoline, le kérosène, l'huile de combustion et l'huile de graissage. A côté de ces substances principales, se range toute une série de sous-produits, parmi lesquels on peut citer : la benzine, la vaseline, la paraffine, l'asphalte, le coke de pétrole, etc., etc. Il est difficile de définir exactement la ligne de démarcation entre ces différents corps, et les dénominations données ci-dessus se rapportent plus à des classes de produits similaires qu'à des types bien déterminés.

Sous le nom de gazoline, on désigne tous les liquides très volatils, dont l'essence pour automobiles est le plus connu. Par kérosène, on entend ceux moins volatils dont la densité, tout en étant plus élevée que celle de la gazoline, est moindre que celle de l'huile de combustion ; le pétrole lampant du commerce en est le type caractéristique. L'huile de combustion comprend tous les distillats de densité supérieure à celle du pétrole lampant et inférieure à celle de l'huile de graissage ; dans cette classe rentre l'huile à gaz utilisée pour l'enrichissement du gaz d'éclairage. La marine en fait actuellement une très grande consommation pour le chauffage des chaudières en lieu et place du charbon. Enfin, sous le nom d'huile de graissage on désigne une grande variété de produits assez denses, employés comme lubrifiants.

La plupart de ces substances sont susceptibles d'être décomposées à leur tour en d'autres par distillation fractionnée. On

trouve actuellement dans le commerce plus d'une centaine de corps différents dérivés du pétrole et on ne peut effectivement assigner aucune limite à leur nombre. La chimie en découvre à chaque instant de nouveaux qui peuvent trouver dans l'industrie des applications imprévues.

Les méthodes de distillation du pétrole varient avec sa nature chimique et les produits que l'on désire en retirer. Suivant la manière dont les raffineries travaillent, on peut les classer en trois catégories. Le premier groupe comprend les usines où l'on se contente d'extraire du pétrole brut les essences légères. Tout le restant, non distillé, est revendu comme combustible liquide. On ne retire dans ce cas que les produits les plus aisés à obtenir et dont la demande est très grande. C'est surtout à l'Ouest du Mississipi que sont établies les usines travaillant suivant cette méthode.

Le second type de raffinerie fait un traitement complet du pétrole brut et fournit les quatre produits essentiels : essence, pétrole lampant, huiles légères de combustion et huiles lourdes de graissage, avec tous les sous-produits correspondants. Ces usines possèdent des installations beaucoup plus importantes que les précédentes et elles tirent un meilleur profit de la matière première. On les trouve principalement dans les régions de l'Est américain.

Un troisième genre de raffinerie, de conception assez récente, prend pour le moment beaucoup d'extension. Comme celles du deuxième type, ces usines sont équipées pour distiller complètement le pétrole brut. Seulement, au lieu de vendre directement tels quels les différents produits obtenus, elles transforment en essences légères les huiles lourdes, dont la valeur marchande est plus faible. Elles comportent dans ce but des installations spéciales permettant d'effectuer la désagrégation des molécules des composés de densité élevée, pour les transformer en gazoline légère, dont la demande est si grande à l'heure présente.

Le raffinage du pétrole exige toujours des immobilisations très importantes de capitaux et, de par sa nature même, est une entreprise de grande envergure. Aussi, une dizaine de sociétés seulement assurent aux États-Unis la plus grande partie de la production de pétrole raffiné.

Tout le travail se fait par distillation ; on chauffe le pétrole brut dans d'immenses alambics, d'où les produits vaporisés s'échappent et sont condensés par fractionnement représentant approximativement les qualités désirées. On les purifie ensuite

par redistillation ou par voie chimique : parfois, on les transforme en d'autres corps comme nous le disons ci-dessus. Pour montrer l'importance des traitements chimiques effectués dans les raffineries, qu'il suffise de signaler que le dixième de la production totale d'acide sulfurique des États-Unis y est utilisé.

Les différents produits retirés du pétrole brut ont eu des fortunes commerciales fort variables. Au début de sa découverte, c'étaient surtout les huiles lampantes qui étaient recherchées et les essences légères, dont on ignorait alors l'utilité, étaient fort peu appréciées et souvent détruites. Bien que à son tour l'huile de graissage prît rapidement une grande importance, pendant plus de quarante ans c'est principalement comme moyen d'éclairage que le pétrole s'est fait connaître dans le monde entier. Cependant, vers la fin du XIX siècle les applications de l'éclairage au gaz par incandescence, puis de l'éclairage électrique diminuèrent fortement la demande de pétrole lampant ; celui-ci ne trouva plus guère de débouchés que dans les campagnes. A certain moment, on put croire que l'avenir de l'industrie pétrolifère était en danger. Mais, bien avant que cette menace ne se réalisât, le développement prodigieux du moteur à essence créa une telle demande que l'on dut envisager rapidement l'extension des moyens de production et à l'heure présente ce sont surtout les essences légères qui forment la base du commerce du pétrole.

Lors de l'entrée en guerre des États-Unis, la demande d'huile de combustion devint si grande que la situation prit un aspect nouveau et que les raffineries durent prendre des mesures en conséquence. La production de pétrole brut n'étant pas à même de suivre les exigences de la consommation, il en est résulté à certains moments de sérieux manquants alors qu'on ne fut jamais à court d'essences légères. Il est probable que dans l'avenir l'huile de combustion sera de plus en plus employée et tendra à devenir le produit principal des raffineries. Après l'époque du pétrole lampant et celle de l'essence légère, l'histoire du pétrole marquerait une troisième et peut-être dernière étape, celle de l'huile de combustion.

MAURICE DEMANET,
Ingénieur civil.

BIBLIOGRAPHIE

I

Principes usuels de nomographie avec application a divers problèmes concernant l'artillerie et l'aviation. Conférences faites à la section technique de l'artillerie (février 1919) par le Lieutenant-Colonel d'Ocagne, chef de la section de nomographie, professeur à l'École Polytechnique. Un vol. de 70 pp. — Paris.

Lorsque M. d'Ocagne créa en 1891 la science nouvelle appelée Nomographie, par la publication de son ouvrage intitulé *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques,* il ne prévoyait vraisemblablement pas que l'enfant auquel il donnait le jour entrerait au service de la France. Cette éventualité imprévue s'est cependant réalisée, car le gouvernement français décréta au cours de la guerre la fondation d'une Section de Nomographie, et en confia l'organisation et la direction au créateur et vulgarisateur de la nouvelle science, à M. d'Ocagne lui-même.

Les services rendus par cette science à l'artillerie et à l'aviation n'ont peut-être pas dépassé l'attente de M. le lieutenant-colonel d'Ocagne, mais ils ont étonné bien des techniciens au cours de la guerre, à tel point que les échos en ont franchi les lignes allemandes et nous sont parvenus à plusieurs reprises à Bruxelles.

Le nouveau livre publié par M. d'Ocagne sous les auspices de la Direction de l'artillerie française n'est évidemment pas suffisant pour remplacer les autres ouvrages de l'auteur sur le même sujet, mais ce livre suffit pour donner une idée du contenu de ces ouvrages et faire naître le désir de les parcourir en détail.

L'auteur décrit d'abord quelques abaques cartésiens basés sur des principes connus depuis longtemps.

II

Géométrie synthétique des unicursales de troisième classe et de quatrième ordre, par E. Bally. Un vol. broché in-8° (23 × 14) de vi + 98 pages, avec 17 figures dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Ce travail est extrait d'un ouvrage de Géométrie dont l'auteur annonce la publication ultérieure. Il comprend cinq chapitres. Le premier donne un aperçu général sur les cycloïdes, la trihypocycloïde (à trois rebroussements) et la monoépicycloïde ordinaire (cardioïde de Pascal) étant prises comme types des unicursales de troisième classe et de quatrième ordre.

Le deuxième chapitre traite des propriétés tangentielles de l'hypocycloïde tricuspidale. Corrélatives des propriétés ponctuelles des cubiques à point double, elles s'étendent — du moins en ce qui concerne les propriétés projectives — aux courbes générales de troisième classe, qui sont des cayleyennes de réseaux ponctuels de coniques.

Les chapitres III et IV sont consacrés aux propriétés ponctuelles, dérivant de ce fait que les unicursales de troisième classe sont les transformées quadratiques ponctuelles de coniques inscrites au triangle de leurs rebroussements. Dans le dernier de ces chapitres (pp. 77 et suiv.), il faut mentionner une propriété remarquable se rapportant aux tangentes à l'hypocycloïde aux points où elle est coupée par un cercle arbitraire.

Au dernier chapitre, enfin, l'auteur rappelle tout d'abord certaines propriétés projectives des cubiques gauches, en renvoyant pour les démonstrations les plus simples à l'ouvrage annoncé. Ensuite il considère la cubique à point double et la quartique de troisième classe comme la projection d'une cubique gauche et comme la trace de la développable de ses tangentes.

En général, dans la première moitié de ce travail, l'auteur ne fait appel qu'à la Géométrie élémentaire et, toujours, il met à contribution des raisonnements très simples, même dans les cas assez rares où il se permet quelque petite intrusion analytique.

En terminant la Préface, l'auteur s'exprime ainsi : « Puisse ce petit Livre intéresser les amateurs de Géométrie et leur inspirer le désir de lire ensuite l'Ouvrage que nous leur promettons ! »

On s'aperçoit immédiatement que si l'emploi de ces abaques peut être utile, il comporte néanmoins des difficultés engendrant nécessairement des erreurs. On s'aperçoit aussi qu'un abaque de ce genre s'applique exclusivement à des fonctions de deux variables indépendantes, et qu'il en faut par suite tout un atlas lorsque ces fonctions dépendent de trois variables. On voit enfin que les fonctions d'un nombre de variables plus grand échappent au calcul graphique au moyen d'abaques cartésiens.

Tous ces inconvénients disparaissent dans les abaques à points alignés, inventés en 1891 par M. d'Ocagne et étudiés par lui d'une manière tout à fait complète dans son *Traité de Nomographie*, publié en 1899.

La plus grande partie du nouveau livre de M. d'Ocagne (pages 14 à 67) est consacrée aux abaques à points alignés. Il suffit de jeter un seul coup d'œil sur les figures 5 et 5bis (pp. 22 et 23) pour se rendre compte des immenses avantages des abaques à points alignés. Ces deux figures représentent la même formule, entre les mêmes limites. L'abaque à points alignés se compose seulement de trois échelles graduées. L'abaque cartésien comprend un réseau de 220 lignes.

L'auteur expose les principes essentiels de la nomographie par points alignés, et prend tous ses exemples dans le service dont il a la direction, le tir et l'aviation. A ce titre l'ouvrage intéresse particulièrement le monde militaire. Néanmoins les lecteurs civils qui verront le livre y puiseront des connaissances solides en Nomographie, et le vif désir de lire les autres publications de M. d'Ocagne.

En nous plaçant à ce dernier point de vue, nous tenons à mettre les lecteurs en garde contre un excès de modestie du savant écrivain français. Il dit, en effet, dans son avant-propos que les principes de la nomographie ont été esquissés pour la première fois dans sa brochure de 1891. Son traité de 1899 constitue évidemment un exposé complet de la question. Mais la brochure de 1891 n'est pas seulement une esquisse, c'est une œuvre créatrice contenant les principes fondamentaux et dont plus d'un praticien peut se contenter s'il ne dispose pas du temps nécessaire pour étudier le traité de 1899.

É. Goedseels.

A ces vœux, que nous faisons nôtres, nous ajouterons le suivant : celui de voir paraître au plus tôt l'ouvrage en question.

L. C.

III

ALGÈBRE A DEUX DIMENSIONS, par M. STUYVAERT, Docteur spécial en mathématiques. (Publication faite avec le concours de la Fondation *Agathon De Potter*). Un vol. in-8° de VIII-223 pages. — Gand, Van Rysselberghe et Rombaut, 1920.

M. Stuyvaert n'est pas inconnu du monde mathématique et il ne doit pas être présenté au lecteur : il a publié un certain nombre de mémoires, notamment sur des sujets connexes à celui de la présente brochure. Mais ce qui est peut-être moins notoire et mérite certainement d'être signalé en passant, c'est que ce savant, qui signe aussi « Correspondant de l'Académie royale de Belgique », est l'auteur d'un *Précis d'Histoire naturelle* en quatre petits volumes (texte bilingue), adoptés par le Conseil de Perfectionnement des Athénées et des Écoles moyennes, et dont le plus remarquable, *Zoologie et Botanique*, a paru pendant l'occupation en 1916. M. Modeste Stuyvaert est un des rares géomètres qui opinent, avec beaucoup de raison, non seulement que le mathématicien ne doit pas s'interdire de se délasser en quittant de temps à autre le chemin de ses études favorites pour marcher dans les plates-bandes à droite et à gauche, mais aussi qu'on n'a rien à lui reprocher s'il s'avise de publier sur les questions les plus diverses.

Pour l'impression de l'*Algèbre à deux dimensions*, l'Académie royale de Belgique a accordé à l'auteur un subside (Fondation Agathon De Potter) et M. Stuyvaert est le premier à bénéficier de la libéralité du fondateur. L'ouvrage répond bien aux conditions voulues : il est, en effet, d'un caractère beaucoup trop spécial pour qu'on puisse espérer un débit important et il est trop peu nouveau pour prendre place dans les Mémoires de la savante compagnie. Certes, il contient quelques recherches originales inédites, mais la plus grande partie est constituée de résultats déjà publiés par l'auteur (notamment dans *Cinq études de géométrie analytique*, parues il y a treize ans), voire de choses bien connues et qui auraient pu être omises.

La pensée dominante de M. Stuyvaert a été « d'exploiter autant

que possible le fait que les matrices et les déterminants ont longueur et largeur et se prêtent à des applications quand on les considère dans ces deux sens ». L'utilité des matrices apparut pour la première fois à l'occasion d'une question géométrique : une matrice de six formes linéaires quaternaires représente une cubique gauche.

Reproduisons la Table des matières, en intercalant quelques commentaires. — Ch. I. Les matrices. — Cette partie, constituée de généralités, est celle qui porte le plus l'empreinte de la destination primitive du travail : former un chapitre du Cours de méthodologie mathématique de l'Université de Gand. — Ch. II. Congruences de cubiques gauches. — Ch. III. Autre congruence de cubiques gauches. — Ces deux divisions sont consacrées à des exemples d'applications géométriques de la théorie des matrices. — Ch. IV. Courbes algébriques gauches représentables par des matrices. — Ch. V. Opérations conduisant à des matrices. — Ch. VI. Élimination d'une inconnue entre plusieurs équations. — Les déterminants et les matrices permettent de rechercher les conditions d'existence de plus d'une racine commune à deux équations algébriques. C'est ce que l'auteur appelle le problème de la *surélimination*. Il montre que si l'élimination d'une inconnue donne un lieu géométrique, la surélimination en fournit généralement les points singuliers. — Ch. VII. Matrices invariantes. — La notion de matrice invariante généralise celle de déterminant invariant. L'auteur croit donner le premier exemple de matrice invariante pour 4 coniques coplanaires. — Ch. VIII. Systèmes doublement et triplement infinis de courbes planes et de surfaces. — Ch. IX. Éliminer un paramètre d'une matrice. — Ch. X. Variétés algébriques de dimensions exceptionnelles. — Ch. XI. Intersection de trois coniques. — Ch. XII. Courbes gauches algébriques. — Considérations sur leur définition et sur leur représentation par des matrices.

A lire cette Table, on croirait que le travail est presque entièrement géométrique ; en réalité, c'est de l'algèbre, mais exprimée dans le langage si familier et si avantageux de la géométrie.

Il est très souvent question d'hyperespace ; mais, chose étonnante, nulle part, pas même au chapitre VII, il n'est fait la moindre allusion aux déterminants ou matrices à plus de deux dimensions, en particulier cubiques. On n'ignore pas cependant le parti qu'on peut en tirer : des travaux remarquables, notamment des dissertations ou thèses soutenues devant des facultés

étrangères, l'ont montré lumineusement. Et cela méritait bien une petite note de quelques lignes !

M. Legat.

IV

Précis de calcul géométrique, par R. Leveugle, lieutenant-colonel du génie. Un vol. de LVI-400 pages (25 × 17), avec 66 fig. dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Le calcul géométrique est une méthode d'algèbre générale qui permet, suivant certaines règles d'opérations sur des grandeurs dirigées, de calculer directement leurs relations numériques et spatiales, sans faire appel à la représentation de ces grandeurs par des nombres étrangers à la question posée, tels que les coordonnées cartésiennes.

Ce calcul peut s'établir d'après les propriétés des quantités complexes, dont les quantités dites imaginaires sont l'exemple le plus simple. En celles-ci la partie réelle dérive numériquement de l'unité absolue 1, et la partie imaginaire est déduite de même de l'unité $\sqrt{-1}$; l'ensemble appartient donc à ce qu'on peut appeler un domaine à deux dimensions, et est susceptible d'une représentation géométrique. Inversement un segment de droite peut être exprimé sous la forme d'un nombre imaginaire et soumis ainsi aux opérations d'un calcul algébrique conventionnel.

D'une manière analogue, il est possible de définir la notion générale des quantités complexes des domaines à plus de deux dimensions, dont les grandeurs dirigées, telles les figures géométriques, les forces, pourront être des cas particuliers. Suivant les conventions adoptées pour les opérations sur ces quantités, on constituera différents calculs.

Deux savants surtout contribuèrent, simultanément et indépendamment l'un de l'autre, à l'établissement de ces nouvelles méthodes, le mathématicien anglais Sir William Rowan Hamilton, professeur à l'Université de Dublin, dont les premières communications sur le « Calcul des Quaternions » parurent en 1843, et le mathématicien allemand Hermann Grassmann, professeur à l'Université de Stettin, dont l'ouvrage « Die lineale Ausdehnungslehre » fut publié en 1844. La méthode du premier est plus simple, plus intuitive, mais aussi moins générale que celle du second. Gibbs, dans sa « Vektor Analysis » a présenté

une méthode réunissant assez bien les avantages de la première et de la seconde, et, avec des notations diverses, le « calcul vectoriel » est de plus en plus employé, au point de devenir comme le langage naturel de la physique et de la mécanique, surtout en Angleterre et en Allemagne.

En France, son usage se répand moins rapidement. C'est d'abord à l'usage d'officiers français, ses compagnons de captivité en Allemagne, et pour leur donner les notions nécessaires à la lecture des ouvrages de physique et de mécanique allemands, les seuls qu'ils pussent se procurer pendant assez longtemps, que l'auteur composa cet ouvrage. Son but est de donner de chacune des deux méthodes de Hamilton et de Grassmann une connaissance suffisante pour que le lecteur puisse en tirer le meilleur parti, soit dans ses travaux personnels, soit dans la lecture des ouvrages, maintenant de plus en plus nombreux, où se trouve adopté l'un ou l'autre des systèmes qui en dérivent. Ce but est certainement atteint. Non seulement les notions sont exposées avec lucidité et suffisamment développées, mais exercices et applications sont multipliés comme à loisir, et leur solution mise à portée du calculateur. C'est plaisir de suivre les leçons de M. Leveugle ; on est charmé par ses qualités pédagogiques ; on lui sait gré, par exemple, des remarques pratiques et des récapitulations qui jalonnent ses cours. La table analytique détaillée, faisant office de formulaire et d'aide-mémoire, qui n'occupe pas moins de 36 pages au début du volume, en fait un répertoire facile à consulter.

En voici les en-têtes principaux :

Notions générales sur les nombres complexes. — Le point et le spath. Les formes F_1, F_2, F_3 et F_4. — Produit des formes entre elles. — Exercices et applications. Applications mécaniques des F_2. — Produit de deux vecteurs. Quaternion. — Produit de plus de deux vecteurs. Formules générales. — Différentiation des vecteurs. — Applications à la géométrie et à la mécanique. — La fonction linéaire et la surface du second ordre. — L'opérateur Δ d'Hamilton. Le gradient. Dérivée d'un scalar. — Application de Δ à un vecteur. Divergence et curl. — Intégrales multiples. — Potentiels Newtoniens. — Mouvement d'un solide autour d'un point fixe. — Notions sur la théorie de l'élasticité. — Application à la théorie électromagnétique de la lumière.

Dans sa préface, l'auteur annonce son intention de publier de nouveaux exercices élémentaires principalement choisis parmi ceux qu'il avait traités pour les officiers partageant sa captivité,

exercices auxquels il ajouterait un certain nombre de passages caractéristiques des maîtres qui ont fondé le calcul géométrique. Il est à souhaiter que bientôt ce projet pourra se réaliser. H. D.

V

NEWTON, par GINO LORIA. In-12 de 69 pages et un portrait hors texte, formant le n° 52 de la collection Profili. — Rome, A. F. Formiggini, 1920.

Nec fas est propius Mortali attingere Divos.

Cet hexamètre dédié à Newton, par son compatriote et ami l'astronome Halley, sert d'épigraphe à M. Loria et nous fait dès l'abord entrevoir le but que l'auteur se propose dans son élégant petit volume : montrer Newton, sa vie, son œuvre au grand public, mais sans étalage de formules, sans appareil d'érudition bibliographique, sans discussion des sources et surtout sans polémique oiseuse. Au surplus, l'ouvrage est écrit par un maître qui connaît à fond le sujet et ne doit pas être présenté aux lecteurs de la REVUE.

Un mathématicien trouve toujours à s'instruire dans Newton ; un historien de la science y découvre aisément des aperçus nouveaux ; mais, encore une fois, ce n'est pas là le but visé par M. Loria. Il écrit pour ces lecteurs cultivés de tout genre, secrètement flattés de trouver les livres qui leur permettent d'admirer les grands hommes autrement que par convention et de confiance. A ce point de vue, le professeur de Gênes a pleinement réussi. Nous trouvons dans son *Newton* la biographie du grand Anglais, l'appréciation d'ensemble de chacun de ses principaux ouvrages, enfin un récit rapide et enlevé de sa célèbre querelle avec Leibnitz ; controverse regrettable, qui laisse intacte, à vrai dire la réputation scientifique des deux illustres adversaires, mais empoisonna les dernières années de leur existence, aigrit leur caractère, les rendit tous deux peu scrupuleux dans l'emploi des moyens, et fit en définitive autant de tort à la mémoire de l'un que de l'autre. Le brillant tableau qu'en donne M. Loria nous a rappelé celui qu'en peignit jadis avec tant d'éclat Biot, au tome I de ses *Mélanges scientifiques et littéraires* (Paris. Levy, 1858). C'est d'une lecture attachante.

Le volume est imprimé avec bon goût et se termine par une bibliographie des travaux de Newton.

H. BOSMANS.

VI

A History of Mathematics by Florian Cajori, Ph. D. Professor of history of mathematics in the University of California. Second edition, revised and enlarged. Un volume in-8° de VIII-516 pages. — New-York et Londres, Macmillan, 1919.

Dans sa préface, M. Cajori s'exprime à peu près en ces termes : « Au cours de la préparation de cette seconde édition, l'auteur s'est décidé à réimprimer certaines parties de la première édition, mais les chapitres relatifs aux mathématiques contemporaines ont été beaucoup développés, au point de paraître même parfois entièrement neufs. Tous les savants qui doivent parler ou écrire sur les mathématiques, sans faire de l'histoire de cette science leur spécialité, formulaient depuis longtemps et d'un commun accord le vœu de voir composer un ouvrage, qui leur donnerait en un volume les renseignements historiques. Tâche difficile cependant, car il est malaisé d'embrasser d'un coup d'œil assuré l'ensemble des mathématiques depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours. L'auteur s'est efforcé, en écrivant cette histoire, de recourir toujours aux meilleures sources, mais sans se dissimuler les difficultés qui se rencontrent, quand on veut, en toute occasion, trouver la vérité sous les voiles qui recouvrent un champ de recherches aussi vaste. L'indication des sources utilisées a dû être limitée par la nécessité de ne pas enfler outre mesure les dimensions du volume. Les références ont surtout été choisies en vue de fournir au lecteur des données qui lui permettront d'approfondir personnellement un sujet déterminé. Les ouvrages dont l'auteur s'est le plus fréquemment servi sont : l'Annuario biografico del Circulo matematico di Palermo, 1914 ; le Jahrbuch über die fortschritte der Mathematik, Berlin ; *J. C. Poggendorff's Biographisch-Litterarisches Handwörterbuch*, Leipzig ; *Gedenktagebuch für Mathematiker* de Félix Müller, 3e édition, Leipzig et Berlin, 1912 ; enfin, la Revue semestrielle des publications mathématiques d'Amsterdam. »

Pour remplir ce programme, M. Cajori divise, en fait, son volume en deux sections à peu près de même étendue, mais sans mettre cette division en évidence par des titres apparents. On peut se demander s'il n'eût, cependant, pas été utile de le faire. Après tout, c'est là une critique de détail.

La première section a 278 pages. Je la nommerai la partie

historique proprement dite. Elle comprend toute la période qui s'étend des époques les plus reculées jusqu'à la fin du XVIII siècle. M. Cajori a puisé souvent aux sources originales. En cela il se trouvait sur son terrain, grâce à de beaux travaux historiques antérieurs qui sont trop connus pour qu'il me faille les signaler ici. Mais, le professeur de l'Université Californienne se sert aussi couramment des *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik* de Cantor, en tenant, bien entendu, compte des minutieuses critiques et corrections que M. Eneström leur a fait subir dans sa BIBLIOTHECA MATHEMATICA. C'était la bonne voie à suivre. Dans un travail d'ensemble, tel que celui de M. Cajori, rien ne vaut comme de prendre pour point de départ les *Vorlesungen* de Cantor. Elles sont un instrument de travail incomparable, pour qui sait s'en servir.

La seconde section de l'*History of Mathematics* a 208 pages et s'occupe du XIXe siècle ainsi que des premières années du XXe. Mais une question se pose : Comment caractériser cette partie de l'ouvrage ? Peut-on lui donner encore, à proprement parler, le nom d'*Histoire* et ne nous manque-t-il pas souvent le recul nécessaire des événements pour pouvoir porter sur les auteurs et leurs travaux un jugement définitif ? Je préférerais dire que ces pages de M. Cajori nous donnent le tableau des principaux points d'une encyclopédie des Sciences mathématiques pures et appliquées, avec l'indication des droits de priorité respectifs des créateurs et des promoteurs de chaque théorie. En réalité, c'est bien là, je crois, ce que M. Cajori s'est proposé de nous faire connaître.

Au surplus, la table des matières est la meilleure analyse du plan d'après lequel le professeur de Berkeley a rempli son programme. Je la traduis :

« Introduction. Les Babyloniens. Les Égyptiens.

» *Les Grecs*. Les Ioniens. Les Pythagoriciens. Les Sophistes. Les Platoniciens. Les premiers Alexandrins. Les seconds Alexandrins. L'arithmétique des Grecs.

» Les Romains. Les Mayas (il s'agit, sous ce nom, d'anciennes nations américaines). Les Chinois. Les Japonais. Les Indous. Les Arabes.

» *L'Europe au Moyen Age*. L'introduction des Mathématiques romaines. Leur transformation sous l'influence arabe. Le premier réveil des mathématiques.

» *L'Europe aux seizième, dix-septième et dix-huitième siècles.*

La renaissance. Viète et Descartes. De Descartes à Newton. De Newton à Euler. Euler, Lagrange et Laplace. »

Voilà pour ce que j'ai appelé la première section. Passons à la seconde.

« Le dix-neuvième et le vingtième siècles. Introduction. Définition des Mathématiques.

» *Géométrie synthétique*. Géométrie élémentaire, ou Géométrie du triangle et du cercle. *Link-motion* (sous ce nom, il est question des courbes décrites par les appareils de Prony, Peaucellier, etc.). Théorie des parallèles. Géométrie non euclidienne. Géométrie à n dimensions.

» *Géométrie analytique*. Analysis situs. Coordonnées intrinsèques. Définition d'une courbe. Postulats fondamentaux. Modèles géométriques.

» *Algèbre*. Théorie des équations et théorie des groupes. Résolution numérique des équations. Carrés magiques et analyse combinatoire.

» *Analyse*. Calcul des variations. Convergence des séries. Probabilités et statistique. Équations intégrales. Équations différentielles et équations aux différences. Équations intégrales. Equations intégro-différentielles. Analyse en général. Calcul fonctionnel. Théorie des irrationnelles et théorie des agrégats. Logique mathématique.

» *Théorie des fonctions*. Fonctions elliptiques. Théorie générale des fonctions. Uniformisation.

» *Théorie des nombres*. Le dernier théorème de Fermat. Théorème de Waring. Autres recherches récentes relatives à la théorie des nombres. Champ de nombres. Nombres transcendants.

» *Mathématiques appliquées*. Mécanique céleste. Problème des trois corps. Application de la mécanique aux fluides. Acoustique. Élasticité. Lumière. Électricité. Chaleur. Potentiel. Relativité. Nomographie. Tables mathématiques. Machines à calculer. Planimètres. Intégraphes.

» Index alphabétique des sujets traités et des noms propres cités. (Il est très développé et ne comprend pas moins de 18 pages à deux colonnes).

Je ne puis terminer ce compte rendu, sans rappeler l'estime que le rénovateur de l'histoire des mathématiques, Maurice Cantor, a témoignée en maintes circonstances à l'auteur du présent volume. Dans le tome IV de ses *Vorlesungen*, Cantor a confié à M. Cajori la rédaction du chapitre consacré à l'histoire

de l'arithmétique, de la théorie des équations et de la théorie des nombres pendant la deuxième partie du dix-huitième siècle. C'est assez dire qu'au jugement du maître d'Heidelberg, le professeur américain était l'un des continuateurs les plus autorisés de son œuvre. La nouvelle histoire des mathématiques ne démentira pas cette appréciation.

H. Bosmans.

VII

Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen Age), par B. Lefebvre, S. J. — Un volume in-8° de VIII et 154 pages. — Louvain, Société scientifique de Bruxelles, 1920.

Les *Notes d'Histoire des Mathématiques* du P. Lefebvre ont toutes paru dans la Revue des Questions scientifiques. L'auteur vient d'avoir l'idée excellente de les réunir en volume. Il dit dans sa Préface au lecteur :

« Datant non pas d'hier, mais d'avant-hier et, d'ailleurs, écrites sans la prétention à une irréprochable exactitude, ces *Notes* eussent gagné à être munies, en de fréquents endroits, de lignes additionnelles et, en d'autres, de corrections attentives. Mais, telles qu'elles sont, il a paru qu'elles restent de nature à être utiles à plus d'un professeur et à plus d'un étudiant ; elles pourront d'autre part compléter l'Aperçu historique qui ouvre notre *Cours développé d'Algèbre élémentaire*. (Namur, 1887.) La Table analytique des Matières qui précède ces *Notes d'Histoire*, permettra d'en retirer des services...

» Nous aimons de ne point clore cette Préface, sans saluer, avec gratitude et avec tristesse, le souvenir de l'inestimable Bibliothèque de l'Université de Louvain, anéantie par la torche allemande en la nuit inoubliable du 25 au 26 août 1914, première nuit du sac de notre ville. — C'est aux pieds des travées de cette Bibliothèque et auprès de ses armoires que bon nombre des simples *Notes* qui suivent, avaient été écrites : le Lecteur verra, plus d'une fois, mentionnée cette origine, s'il fait à ces *Notes*, ou à leur Table des Matières, l'honneur de les parcourir. »

Je me rallie complètement à cette Préface et à toutes les idées qui y sont émises. A l'occasion du présent compte rendu, je viens de relire les *Notes* du P. Lefebvre ; je ne puis que lui affirmer le plaisir que j'y ai pris.

A la lecture des premiers articles on voit que l'auteur avait

d'abord l'intention de faire une critique rapide de l'*Histoire des Mathématiques* de Rouse Ball ; mais il l'abandonne bientôt pour étudier différents chapitres que l'auteur anglais avait très peu traités.

Sauf quelques légères erreurs de détail, auxquelles le P. Lefebvre fait allusion dans sa Préface, tout est bon dans le travail de mon érudit confrère. Plusieurs pages sont magistrales, notamment celles dans lesquelles est fait le tableau de l'état des mathématiques dans notre patrie pendant le haut Moyen Age (Ch. IX et XI). Aucun professeur belge ne devrait les ignorer.

Les *Notes* n'avaient ni divisions en chapitres, ni titres, ni en-têtes d'aucune sorte. La Table des Matières non seulement comble cette lacune, mais les titres des chapitres sont suivis de résumés très développés qui rendent facile l'utilisation du livre. Elle occupe trois pages en tête du volume. Nous en reproduisons ici les en-têtes des chapitres, avec renvois aux livraisons et pages correspondantes de la Revue :

I. Les Historiens des Sciences mathématiques, juillet 1907, p. 594. — II. Les Mathématiques orientales, *ibid.*, p. 598. La Mathématique grecque, *ibid.*, p. 599. Les Mathématiques Hindoues, p. 605. — III. Les Mathématiques à Rome, janvier 1908, p. 252. Les Mathématiques byzantines, *ibid.*, p. 258. Les Mathématiques arabes, *ibid.*, p. 269. — IV. La Numération écrite chez les Grecs et chez les Romains, et dans le haut Moyen Age, avril 1908, p. 558. — V. Origine hindoue de nos Chiffres, *ibid.*, p. 569. — VI. Nos Chiffres à travers les âges, juillet 1908, p. 228. — VII. Les Mathématiques au Moyen Age, *ibid.*, p. 231. — VIII. Le haut Moyen Age, octobre 1908, p. 564. — IX. Les Mathématiques en nos contrées aux temps de Pepin le Bref et de Charlemagne, avril 1909, p. 599. — X. Le moine Gerbert (Sylvestre II), *ibid.*, p. 609. — XI. Les Sciences exactes chez les Belges après Charlemagne, *ibid.*, p. 617, et janvier 1910, p. 264. — XII. Première Renaissance des Mathématiques dans l'Europe chrétienne aux XIIe et XIIIe siècles, avril 1910, p. 606. — XIII. L'Europe entre en possession des Mathématiques arabes, avril 1911, p. 600. — XIV. Les Arabisants de l'École de Tolède au XIIe siècle, octobre 1911, p. 572.

Faisons des vœux pour que ces *Notes d'Histoire des Mathématiques* ne soient pas les dernières que l'auteur nous réserve !

H. Bosmans.

VIII

Théorie des hélices propulsives marines et aériennes et des avions en vol rectiligne, par A. Rateau, membre de l'Académie des Sciences. Un vol. in-8° de VIII-159 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

M. Rateau est l'un des représentants les plus illustres de l'union de la science pure et de la science appliquée. Lorsque, la dernière année de la guerre, l'Académie des Sciences de Paris créa une nouvelle section, celle des applications de la science à l'industrie, le nom de M. Rateau fut parmi les premiers qu'elle retint sur sa liste. Un ouvrage qui se présente sous un pareil patronage ne peut manquer de fixer l'attention. On est certain d'y trouver des vues originales et profondes et des résultats pratiques.

Cet ouvrage est divisé en deux Parties :

1° Théorie des hélices propulsives ;

2° Théorie des avions en vol rectiligne.

Analysons-les successivement.

La théorie des hélices est une œuvre absolument originale et elle se partage en quatre articles : 1° Les hypothèses simplificatives ; 2° La théorie mathématique ; 3° La discussion des formules ; 4° la comparaison avec l'expérience.

Le mouvement de l'hélice dans un fluide est un phénomène infiniment complexe, imparfaitement connu et inabordable par le calcul. Ce qui fait l'originalité de la théorie actuelle, ce sont les hypothèses simplificatives que l'auteur introduit dès le début et dont voici les éléments essentiels. M. Rateau admet que tout l'effet d'un élément de l'hélice sur le milieu ambiant consiste à faire passer une certaine tranche d'air ou d'eau d'un certain état dynamique uniforme à un autre état dynamique uniforme. Connaissant le volume de cette tranche et la modification que subit sa vitesse en grandeur et en direction, on en déduit le recul, la poussée, le moment résistant et le rendement de l'appareil par des calculs simples. Ces hypothèses ne laissent subsister dans les formules que deux paramètres expérimentaux : un coefficient k dont dépend l'épaisseur de la tranche fluide et un autre coefficient ϵ dont dépend la réduction de la vitesse. On obtient ainsi, en fonction du recul, les expressions de la poussée, du moment résistant et du rendement, expressions qui sont d'une simplicité

inattendue et toutes propres pour le calcul. Mais quelle confiance méritent-elles ? Quelle est la valeur réelle des hypothèses et de la théorie ? C'est à l'expérience seule de répondre.

Dans l'article 3, l'auteur discute les formules trouvées. Il étudie les conditions du meilleur rendement et il éclaire toute cette discussion par des diagrammes qui donnent une image extrêmement claire des conséquences de la théorie. Vient alors, dans l'article 4, le contrôle de l'expérience.

Le savant théoricien s'adresse aux expérimentateurs les plus autorisés de France, d'Angleterre et d'Amérique. Il compare ses résultats avec leurs mesures, ses diagrammes avec les graphiques enregistrés et il conclut :

« Toutes les particularités, même les plus singulières, du fonctionnement de ces propulseurs, sont parfaitement éclaircies par notre théorie. Les formules qui s'en déduisent s'accordent bien avec les résultats expérimentaux, d'autant mieux que ces résultats sont plus précis et que le tracé et l'exécution des hélices sont plus corrects ».

. . . . . .

« Notre théorie, et les hypothèses ou concepts sur lesquels nous les fondons, n'ont pas d'autre objet, et c'est capital, que d'établir un guide permettant de rechercher les valeurs que prennent les coefficients suivant les formes et les dimensions de l'hélice, et par là de voir comment ils se modifient lorsque les formes changent. Nous avons pu ainsi déterminer ces valeurs qui, avec une approximation déjà suffisante, nous semble-t-il, pour la pratique, ne dépendent que de deux paramètres physiques : le coefficient k d'influence et le coefficient ϵ de diminution moyenne des vitesses relatives ; et encore devons-nous penser que k varie peu d'une hélice à l'autre, en sorte que, peut-être, il suffit de lui assigner des valeurs fixes pour l'eau, d'une part, et pour l'air, d'autre part.

« Il ne paraît pas possible de simplifier davantage ».

Je passe à la deuxième partie : *Théorie du vol rectiligne des aéroplanes en palier et en montée.*

L'auteur nous avertit que cette partie a été rédigée avant la première, dont elle peut cependant être considérée comme une application. En particulier, la formule de détermination du couple résistant de l'hélice y joue un rôle important. Mais cette partie reproduit, avec des additions et des modifications plus ou moins importantes, les quatre communications présentées par l'auteur à l'Académie des sciences de Paris, en juin et juillet 1919.

Les principales questions étudiées dans le vol horizontal sont : l'incidence du vol au plafond, les variations du plafond avec celles du poids de l'avion et du couple moteur, enfin la vitesse au plafond. Dans le vol en montée, c'est la vitesse ascensionnelle et les meilleures conditions pour la rendre rapide qui sont particulièrement étudiées. L'auteur reprend, après coup, ces mêmes questions en tenant compte de l'obliquité de l'axe de l'hélice sur la trajectoire, obliquité considérée comme négligeable en première approximation.

Il est inutile d'entrer ici dans plus de détails. Ce qui précède suffit pour montrer que la lecture du Livre se recommande à tous ceux qui s'intéressent à la théorie de l'aéroplane, et qu'elle s'impose à ceux qui auraient l'ambition de la faire progresser.

C. DE LA VALLÉE POUSSIN.

IX

UTILISATION DES VAPEURS D'ÉCHAPPEMENT DANS LES HOUILLÈRES EN VUE DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE, par A. BARJOU, chef du service des machines aux mines de Carmaux. — Un vol. in-12 de 89 pages, avec 31 figures dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

L'utilisation des chaleurs perdues est à l'ordre du jour, car elle s'impose plus que jamais, en raison même de la pénurie des combustibles dont nous souffrons si cruellement à l'heure présente : le livre de M. Barjou est donc d'une prenante actualité.

Un grand nombre de houillères ont encore en service des machines d'extraction, à vapeur, à échappement libre, qui consomment moyennement 25 à 30 kilos de vapeur par cheval-heure utile en charbon extrait, dans les meilleures conditions de fonctionnement : la récupération des calories, jetées à l'air, conduit à une économie d'au moins dix pour cent, dont il est inutile de souligner l'importance. Le procédé adopté par M. Rateau et par MM. Harlé et Cie consiste à accumuler dans un appareil approprié les flux d'échappement discontinus des machines à marche intermittente, de façon à obtenir à sa sortie un flux de vapeur régulier, qu'on utilise ensuite dans une machine secondaire, généralement une turbine à basse pression, pourvue d'un condenseur.

Après avoir démontré l'intérêt que présente cette récupération, M. Barjou étudie successivement les appareils accumulateurs, soit thermiques, du système Rateau, soit volumétriques du type Harlé, et il discute leurs avantages respectifs ; il traite ensuite de l'utilisation de la vapeur, dans les turbines à basse pression, et les turbines mixtes, avec admission de vapeur vive, en complément de puissance ; un chapitre est consacré aux condenseurs Westinghouse-Leblanc et Bréguet-Delaporte. Une brève mention est faite enfin de l'utilisation des chaleurs perdues des moteurs à gaz.

Cet ouvrage, écrit avec ordre et méthode, par un ingénieur compétent, n'intéressera pas seulement les directeurs des Compagnies houillères, mais encore tous les industriels, attendu que la récupération est aussi avantageuse dans les établissements actionnés par des machines à piston à marche continue, ainsi qu'en témoignent des applications faites dans des filatures de Roubaix et dans de grandes Centrales, notamment à celle d'Édimbourg, où sont installées des unités de 2500 kilowatts à basse pression.

A. W.

X

Manuel de Topométrie, *Opérations sur le terrain et calculs*, par Jules Baillaud, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, Capitaine d'artillerie territoriale (chef de brigade topographique aux armées). Un vol. in-4° de VII-222 pages. — Paris, Dunod, 1920.

Après avoir commandé pendant les deux premières années de la guerre une section de repérage par le son, un astronome fut mis à la tête d'une brigade topographique. « Nouveau venu dans l'art si attachant du lever des terrains », il fut, plus qu'un professionnel, « frappé par les difficultés que présentent à tous moments les opérations, leurs calculs et leurs discussions ». Il ne pouvait pas être satisfait des méthodes qu'il voyait appliquer dans son service ; aussi quel beau livre tout de suite il dut rêver d'écrire, où tous ces petits cas particuliers seraient ramenés à quelques procédés généraux, où la géométrie analytique, systématiquement appliquée, dispenserait de tous ces insupportables artifices de démonstration ! — Mais les circonstances étaient peu favorables aux innovations qui ralentiraient l'activité du service, et l'astronome-topographe ne pouvait pas négliger « l'expérience

de ses camarades instructeurs » dans la préparation « de plus de deux cents officiers orienteurs » qu'attendait impatiemment la défense du pays.

Le livre de M. Baillaud témoigne de ce désir de faire très bien, et de toutes les difficultés qu'a rencontrées son auteur à faire aussi bien qu'il aurait voulu. Il a renoncé à « écrire un traité complet de topographie » qui aurait été, dit-il, hors de sa compétence, en quoi sa modestie le trompait tout à fait. Il s'est peu étendu sur la description et la manœuvre des instruments, et ceci est excellent, car une manipulation de quelques minutes sera plus utile au topomètre. Il a traité beaucoup plus au long les calculs et leurs discussions : « les calculs topométriques demandent de l'ordre, de la méthode, et, comme tous les calculs un peu étendus, se prêtent à un certain art ». «Peut-être, ajoute l'auteur, beaucoup de géomètres me pardonneront-ils d'avoir cru leur rendre service en leur préparant des modèles qu'ils n'aient qu'à suivre ». Or, il ne s'agit pas de pardon, mais de remerciements. La valeur de ce livre est dans la préparation raisonnée des tableaux de calculs, dont on ne peut trop estimer les services. Sur le terrain, il n'est plus question de reconstituer la théorie ; il faut un guide sûr, auquel on puisse se fier sans discussion nouvelle : je fais les lectures sur les cercles de l'instrument ; voici les colonnes prêtes à les recevoir ; cette barre horizontale me commande une addition ; et, de proche en proche, j'en arrive, au bas de la page, à écrire le résultat final, avec une probabilité minimum de m'être trompé en cours de route. Ces tableaux si utiles sont très abondants dans le livre de M. Baillaud, et encore que ce ne soit certes pas sa seule qualité, ce procédé systématique suffirait à en faire un manuel vivement recommandable.

Mais la partie théorique est souvent faible, hâtivement rédigée. A propos de la *précision des mesures et des calculs*, l'évaluation de l'erreur finale a beau invoquer la théorie des erreurs : celle-ci ne la défendra que moyennant bien des restrictions. — Au chapitre des *instruments*, la théorie du niveau est insuffisante, et s'il est légitime de supposer d'abord la chiffraison croissante d'un bout à l'autre de la fiole, il est assez cavalier de se débarrasser de la réalité en ajoutant : « s'il n'en était pas ainsi, l'opérateur collerait sur l'armature une bande de papier portant une nouvelle chiffraison ». La démonstration habituelle de la formule stadimétrique n'est pas améliorée ; ce serait pourtant bien nécessaire. — Le chapitre relatif aux *calculs numériques*

est très bon, tout rempli d'excellents conseils (mais on n'y aime pas, pour les logarithmes, les caractéristiques négatives). — Dans les *conventions et définitions*, un astronome avait pu trouver beaucoup à élaguer. — Les *transformations de coordonnées* (sauf les formules dites des ingénieurs géographes, qui devraient être discutées), le *nivellement*, le *recoupement*, le *relèvement*, le *cheminement* sont bien traités (et ce sont les chapitres essentiels), mais la méthode de Hatt devrait être reprise. — Il était fort bon d'introduire un chapitre étendu sur les *procédés astronomiques d'orientation :* il rendra service à qui se fiera aux procédés qu'il décrit, mais la théorie y est hésitante, et lorsqu'un alinéa est intitulé temps sidéral, pourquoi n'y trouve-t-on que la définition du jour sidéral ? — Des *notions sur les projections* sont nécessaires dans un ouvrage général de topographie, et c'est par elles qu'il devrait débuter, mais elles sont, ici, insuffisantes : la projection stéréographique, la projection azimutale sont des cas particuliers simples sans intérêt pour le topographe, celui-ci devant faire des levés de détails appuyés sur les points de repère que porte la carte générale du pays.

A recommander ce livre on ne trompera personne, et on hâtera, pour son auteur, le moment de le transformer, en deuxième édition, dans le *Traité* qu'il a eu le tort de ne pas vouloir écrire aujourd'hui.

M. A.

XI

Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics, *being an Essay to which the Adams Prize of the University of Cambridge for the year 1917 was adjudged,* par J. H. Jeans, F. R. S., professeur émérite de l'Université de Cambridge. — Un vol. grand in-8° de VIII-288 pages. — Cambridge, University Press, 1919.

Les « Adjudicators » du prix Adams pour 1917 mirent au concours le sujet suivant : L'étude des configurations possibles d'une masse fluide pesante en mouvement de rotation, et de leur évolution, y compris la discussion de leur stabilité. — M. Jeans s'occupait de ces questions depuis plusieurs années. Il présenta le travail qu'il publie aujourd'hui et le prix lui fut décerné. Les formations célestes dont il recherche l'interprétation sont au nombre de cinq : les systèmes planétaires et satellitaires, les étoiles doubles, les nébuleuses spirales, les nébuleuses

sphéroïdales et les amas stellaires. Cette interprétation demande des recherches mathématiques élevées qui constituent la réponse proprement dite à la question proposée. Enfin, les résultats de ces recherches permettent des conjectures vraisemblables sur la formation de l'univers stellaire et du système planétaire.

Cet ouvrage est fondamental. Aussi la Direction de la Revue a-t-elle réservé son analyse détaillée à un article des *Variétés* d'un prochain numéro.

M. A.

XII

Traité de Mécanique rationnelle, par Paul Appell, Recteur de l'Université de Paris. Tome IV : *Figures d'équilibre d'une masse liquide homogène en rotation sous l'attraction newtonienne de ses particules.* Un vol. gr. in-8° de 297 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Le grand Traité de Mécanique rationnelle de M. Appell, dont les trois premiers volumes ont été analysés dans cette Revue lors de leur apparition (1), et qui vient de s'enrichir du tome IV ici examiné, fait pendant, dans l'ordre de la mécanique, au grand Traité de Darboux sur la théorie générale des surfaces, dans celui de la géométrie. Ces deux ouvrages ont, de façon magistrale, fait prendre la forme didactique aux parties les plus élevées des sciences dont ils traitent. Ils resteront tous deux

(1) Livraisons d'avril 1894 (p. 621), de juillet 1896 (p. 260) et de janvier 1903 (p. 272). En même temps que le tome IV, vient de paraître une troisième édition du tome III consacré à l'équilibre et au mouvement des milieux continus, où se rencontrent d'importants changements sans compter nombre de perfectionnements de détail. L'un de ces changements a trait à la démonstration de la formule d'Ampère et de Stokes, sensiblement simplifiée ; mais les plus importants résident dans deux notables additions se référant l'une aux beaux travaux de M. Villat sur le mouvement d'un liquide en présence d'un obstacle fixe, et, plus particulièrement, sur la détermination des lignes de discontinuité partant de l'obstacle fixe et délimitant à l'arrière de celui-ci une sorte de région de fluide mort, l'autre aux importantes recherches de M. Bjerknes sur les fluides, dits *baroclines*, pour lesquels la densité ne dépend pas uniquement de la pression, mais encore d'autres variables comme la température, le degré d'humidité (s'il s'agit de l'air), la concentration saline (pour les eaux marines), ce qui confère un intérêt spécial aux résultats acquis par le savant professeur norvégien. Tout cet ensemble d'importantes additions donne presque à cette nouvelle édition l'attrait d'une œuvre nouvelle ; la lecture de l'ancienne ne peut plus suffire au lecteur soucieux de se tenir complètement au courant de l'état présent de la science.

comme de véritables monuments de la science à notre époque, monuments où brillent, au reste, la belle ordonnance et la parfaite clarté caractéristiques des œuvres françaises.

Le tome IV débute par un chapitre où se trouve résumée, sous une forme frappante, la suite des étapes successivement franchies dans l'étude des figures d'équilibre des masses homogènes en rotation. L'auteur distingue d'abord la phase allant de Newton à Laplace, en passant par Maupertuis, Maclaurin, Simpson, Clairaut, Legendre, pendant laquelle les seules figures d'équilibre envisagées sont les ellipsoïdes de révolution et les anneaux ; puis celle qui s'étend de Jacobi à Poincaré, caractérisée par l'introduction de nouvelles solutions constituées par les ellipsoïdes à trois axes inégaux, et à laquelle se rattachent les noms de Liouville, Smith, Plana, Otto Meyer; enfin la période de Poincaré et de Liapounoff se prolongeant par tout un ensemble de recherches contemporaines qui ont mis notamment en évidence les noms de plusieurs jeunes mathématiciens, MM. Globa-Mikhaïlenko, Pierre Humbert, Alexandre Véronnet.

Dans le chapitre II, l'auteur résume, à titre de prolégomènes, les formules fondamentales relatives à l'attraction et au potentiel, qu'il emprunte aux chapitres XXVIII et XXIX de son tome III.

Le chapitre III est consacré à l'étude des ellipsoïdes de Maclaurin et de Jacobi, les uns de révolution, les autres à trois axes inégaux, qui constituent, comme on vient de le rappeler, les solutions les plus anciennement connues du problème de l'équilibre d'une masse liquide en rotation. Ayant d'abord traité le problème, à titre d'entrée en matière, dans le cas d'une masse immobile, l'auteur examine à quelles conditions une masse fluide peut être supposée en mouvement tout en conservant une forme invariable, et il démontre que cela ne peut avoir lieu que si la masse est animée d'une rotation constante autour d'un de ses axes principaux d'inertie, cette rotation n'étant d'ailleurs stable qu'autour soit du plus grand, soit du plus petit axe d'inertie, et il complète ce résultat par le théorème de Poincaré en vertu duquel, pour une pression extérieure nulle, l'équilibre n'est possible, quelle que soit la forme extérieure, que si la vitesse de rotation ne dépasse pas une certaine limite proportionnelle à la racine carrée de la densité du liquide. Partant de là l'auteur développe successivement la théorie des ellipsoïdes de révolution de Maclaurin et celle des ellipsoïdes à trois axes inégaux de Jacobi, qu'il fait suivre d'une discussion approfondie en prenant

comme paramètre soit la vitesse de rotation, soit le moment de rotation, soit le grand axe, les résultats de cette discussion prenant une forme frappante grâce à d'ingénieuses figurations géométriques soit dans le plan, soit aussi dans l'espace.

Pour pousser plus avant les investigations dans cette voie, il convient d'introduire certaines notions mathématiques relatives à divers types d'équations fonctionnelles ou intégro-différentielles ou de variations, se rattachant à la théorie des déplacements virtuels, enfin à diverses relations entre l'énergie, le moment d'inertie, le volume, la vitesse de rotation et la fonction des forces : tel est l'objet du chapitre IV, dont la matière est, pour une bonne part, empruntée aux travaux de Poincaré.

Afin de permettre l'étude de la méthode de l'illustre géomètre, publiée dans le tome VII des Acta mathematica, et qui repose sur l'emploi des fonctions sphériques et des fonctions de Lamé, les chapitres V et VI sont consacrés respectivement à ces deux catégories de fonctions, dont on ne saurait souhaiter une monographie plus condensée en même temps que plus substantielle ; aucune de leurs propriétés essentielles, d'ailleurs présentées avec une extrême clarté, n'est laissée en dehors de cet exposé.

Cette digression purement mathématique permet ensuite à l'auteur, au chapitre VII, de faire pénétrer le lecteur plus avant dans le domaine à travers lequel il le guide, en abordant l'étude des figures d'équilibre voisines des ellipsoïdes, étude que domine la méthode de Poincaré avec l'importante notion des figures de bifurcation. Cette étude est, au reste, développée en détail tant pour les ellipsoïdes de Maclaurin que pour ceux de Jacobi ; elle conduit, dans ce dernier cas, à la notion des figures piriformes de Poincaré, qui ont fait l'objet de recherches approfondies, ici clairement résumées, de la part notamment de Liapounoff, de Darwin, et, en dernier lieu, de Pierre Humbert, de Globa-Mikhaïlenko et de Véronnet.

Quant à la question de la stabilité des figures d'équilibre, qui est encore loin, comme on sait, d'être complètement élucidée, l'auteur expose, au chapitre VIII, tout ce qu'on en peut dire — qui, d'ailleurs, n'est pas négligeable — dans l'état présent de nos connaissances. Il prend, au reste, comme base de cet exposé l'intéressante discussion de la question générale de l'équilibre, développée par Thomson et Tait dans leur *Natural Philosophy*, pour aboutir à la condition de stabilité découverte par Poincaré.

Pour le cas des systèmes à un paramètre, M. Appell introduit une remarquable représentation graphique qui rend, en quelque

sorte, intuitifs les résultats correspondant aux divers cas de la discussion. Il fait voir, en outre, d'après Poincaré, comment le cas général peut se ramener à celui d'une variable et d'un paramètre, pour appliquer ensuite la méthode à l'étude de la stabilité des figures d'équilibre d'une masse fluide.

Un index bibliographique très complet termine le volume.

On ne peut, en poursuivant la lecture de cet ouvrage, se lasser d'admirer l'art savant avec lequel M. Appell sait réduire des matières aussi ardues à une forme si purement didactique.

M. O.

XIII

La résistance de l'air et l'expérience. — Les conséquences, par L. Jacob, Ingénieur général d'Artillerie navale (Ouvrage faisant partie de la *Bibliothèque de mécanique appliquée et génie* de l'*Encyclopédie scientifique*). 2 vol. in-18 jésus de 316 et 272 pages. — Paris, Doin, 1921.

Les résultats numériques que l'on possède actuellement au sujet de la résistance de l'air sont de source exclusivement expérimentale.

Il était naturel d'essayer de traiter le problème de la résistance à l'aide des équations du mouvement des fluides, comme une question de physique mathématique, de tenter de se procurer ainsi les coefficients dont on a besoin dans les applications et de vérifier en même temps leur concordance avec les chiffres expérimentaux.

Les efforts qui ont été faits dans ce sens, s'ils ont conduit parfois à des développements intéressants au point de vue mathématique, n'ont pas abouti à des résultats d'ordre pratique.

On ne peut en être autrement surpris quand, d'une part, on examine les hypothèses généralement admises pour arriver à une solution de la question et que, d'autre part, on en rapproche ce que l'on sait, à l'heure actuelle, des phénomènes qui apparaissent lorsqu'un solide se meut d'un mouvement uniforme dans un fluide primitivement au repos.

Ces phénomènes consistent en la formation de discontinuités de diverses natures, qui prennent naissance par le seul fait du mouvement relatif du solide et du fluide.

Leur présence a pour effet de modifier profondément les conditions primitives du mouvement ; c'est ainsi que les conditions aux limites peuvent se trouver complètement changées.

Quand on veut étudier le mouvement dans l'air d'un solide animé d'une certaine vitesse, on suppose que le solide acquiert progressivement cette vitesse en partant du repos, puis qu'il la conserve. Dans cette dernière période, le système est soumis à des conditions sensiblement indépendantes du temps, et on admet qu'au bout d'un intervalle de temps suffisamment long, le mouvement devient permanent dans les environs du solide et que, très loin vers l'amont, le fluide est à l'état primitif.

C'est cet état, loin du solide, qui constitue ce que l'on nomme un ensemble de conditions aux limites.

A priori ce raisonnement paraît applicable quelle que soit la vitesse du mobile.

Or, on sait aujourd'hui que, si cette vitesse est supérieure à la vitesse du son dans le milieu primitif, il se forme à l'avant du solide, et très près de lui, une discontinuité sur laquelle on peut calculer les éléments du fluide.

Cette surface de discontinuité sépare le fluide en deux régions dans chacune desquelles le mouvement est régi par des lois tout à fait différentes, et c'est l'état du fluide sur la discontinuité qui devient l'un des ensembles de conditions aux limites, pour le mouvement du fluide avoisinant le solide.

La présence de cette discontinuité résulte sans conteste de l'examen des photographies que l'on a pu prendre du phénomène : auparavant on n'en soupçonnait pas l'existence.

Hugoniot et Riemann avaient bien étudié ce qui se passerait si des discontinuités venaient à se former, mais ils n'avaient jamais affirmé qu'elles prendraient effectivement naissance ; on peut même dire qu'ils paraissaient en douter.

D'ailleurs, à l'arrière du solide, des phénomènes spéciaux prennent également naissance, sensiblement plus complexes que celui dont nous venons de dire un mot, et qui, en outre, apparaissent aux plus faibles vitesses.

On voit bien par là que l'expérience, en l'état actuel de nos connaissances, était indispensable pour que l'on pût aborder la question avec quelque chance de succès.

Le nouvel ouvrage de M. l'Ingénieur général Jacob, qui va être analysé ici, a été écrit sous l'empire de ces considérations ; l'auteur envisage d'abord les faits expérimentaux et cherche à en déduire les conséquences qu'ils impliquent.

La première partie de l'ouvrage est consacrée aux généralités et à l'exposé des résultats qui ont été obtenus par l'étude expérimentale de la résistance que l'air oppose aux corps des formes

les plus simples : surfaces de révolution, cylindres, plans se présentant normalement ou obliquement.

Il convenait d'insister d'une façon spéciale sur la définition de la résistance, car les divergences notables, que l'on rencontre entre les résultats expérimentaux, proviennent très souvent de ce que, dans certaines séries d'expériences, les règles de définition ne sont pas suffisamment observées.

On peut signaler à ce propos, la difficulté connue sous le nom de paradoxe de du Buat, et qui consiste à admettre que la résistance n'est pas la même dans le cas où le fluide est mobile et le solide fixe que dans le cas contraire.

Ce fait serait en opposition avec le principe de relativité, mais en réalité il n'en n'est rien et les contradictions sont imputables au mode opératoire.

Parmi les causes qui influent sur la valeur de la résistance, il convient de signaler tout spécialement le phénomène de l'entraînement du fluide. Il paraît avoir été presque constamment négligé, alors qu'il est en réalité à la base de l'étude de la résistance de l'air.

Du fait de cet entraînement, découle l'existence de deux régions distinctes, où le mouvement du fluide est soumis à des lois complètement différentes, régions séparées par une surface formant surface de discontinuité, qui apparaît aux plus faibles vitesses.

Le second chapitre est consacré à l'étude de la résistance aux vitesses qui se rencontrent dans les applications autres que l'artillerie.

Il est donné une énumération des résultats obtenus par les divers expérimentateurs ; le chapitre se termine par la question très importante des résultats obtenus au point de vue de la répartition des pressions sur les surfaces.

On remarquera l'influence considérable des dépressions qui, contrairement à ce que l'on a supposé pendant longtemps, est presque équivalente à celle des compressions.

Le troisième chapitre est consacré à l'examen des conséquences de ces résultats : certaines d'entre elles ne peuvent apparaître directement.

Le quatrième chapitre est réservé à l'étude de la résistance des plans se présentant obliquement à la direction du vent ; cette question offre un intérêt tout spécial au point de vue de l'aviation.

Les résultats obtenus permettent de se rendre compte de ce

qui se passe quand l'inclinaison du plan sur le vent, ou angle d'attaque, varie de 90° à zéro.

Deux changements fondamentaux se produisent dans le régime entre ces limites.

Entre 90° et une inclinaison qui est pratiquement de 36°, le filet fluide, pour un plan très allongé, et si l'on n'envisage que la section médiane, vient se diviser sur le plan, en un point qui, situé au milieu de la section quand l'angle d'attaque est de 90°, se rapproche du bord d'attaque quand l'inclinaison diminue ; une partie du filet fluide ainsi dédoublé s'écoule par le bord d'attaque, l'autre partie s'écoule par le bord opposé.

Pour des angles d'attaque inférieurs à 36°, mais restant supérieurs à une dizaine de degrés, le fluide arrive par le bord d'attaque, où il se divise. La partie avant du filet, ainsi dédoublé, suit la face avant de la plaque d'un bord à l'autre, mais la seconde partie du filet ne suit pas la face arrière de cette plaque.

Pour ces diverses inclinaisons, c'est-à-dire entre 90° et environ 10°, il existe, à l'arrière du plan, une masse fluide sensiblement au repos par rapport à lui et où, par suite, la pression est pratiquement constante.

Vers l'angle de 10° le filet arrière vient suivre le plan du bord d'attaque au bord opposé ; à partir de ce moment les pressions sur la face arrière, qui étaient sensiblement constantes, deviennent rapidement variables ; la masse gazeuse visée ci-dessus n'existe plus le long de la face arrière, mais elle ne disparaît pas complètement et se retrouve en arrière de la tranche du plan, c'est-à-dire avec des dimensions très réduites.

Le chapitre V donne les valeurs du coefficient de la résistance de l'air aux vitesses balistiques.

Enfin le chapitre VI fournit des indications sur la question très importante de l'observation des discontinuités, qui prennent naissance quand la vitesse du mobile devient supérieure à la vitesse du son dans le milieu primitif.

La seconde partie de l'ouvrage est consacrée à l'étude des discontinuités.

Dans le premier chapitre sont résumées les principales notions relatives au mouvement des gaz telles qu'elles sont exposées dans les traités de mécanique.

L'auteur insiste à diverses reprises sur les inconvénients que peut présenter la méthode consistant à supposer *a priori* le mouvement devenu permanent, en faisant abstraction de la période d'établissement, pendant laquelle peuvent survenir des modifications profondes aux lois primitives du mouvement.

Dans le même ordre d'idées sont signalées des exceptions possibles aux propriétés du tourbillon énoncées par Helmholtz sous une forme beaucoup trop absolue.

Le chapitre II traite, sous une forme remarquablement simple, des notions d'ondes, d'ondes stationnaires et des discontinuités des divers ordres.

Après avoir énoncé la loi adiabatique dynamique, l'auteur montre le triple mode de variation de la densité, qui se rencontre au passage d'une discontinuité du premier ordre, et la modification profonde qui en résulte pour l'état du fluide.

Le mode de formation physique d'une discontinuité du premier ordre n'est pas complètement élucidé ; l'auteur signale l'hypothèse qui lui paraît la plus probable, mais en faisant remarquer que le manque d'explication physique ne peut infirmer les faits, à savoir qu'il existe des discontinuités du premier ordre.

Le chapitre III est consacré à l'étude des discontinuités au point de vue dynamique, et le chapitre IV à l'étude des surfaces de discontinuité et plus spécialement de celle de l'avant ; c'est la seule que l'on puisse à l'heure actuelle déterminer d'une façon rigoureuse.

Des tables ont été calculées pour permettre la détermination facile de l'état du fluide sur la discontinuité.

Le chapitre V montre comment sont modifiés les éléments caractéristiques de l'état du fluide après le passage de la discontinuité.

Le chapitre VI est consacré, en premier lieu, à certaines considérations relatives aux discontinuités mobiles, qui pourraient prendre naissance, pour des vitesses du solide inférieures à la vitesse normale du son.

L'auteur montre comment ces discontinuités peuvent se former dans le cas du mouvement par tranches parallèles. Mais ce résultat qui avait été obtenu pour la première fois par Hugoniot ne peut être étendu, par la même méthode, au cas général, en sorte que l'on n'a, pour le moment, que des présomptions en faveur de la formation des discontinuités mobiles, dans certaines circonstances du mouvement du solide, pour des vitesses inférieures à la vitesse du son.

Toutefois il est un cas où l'on est certain de la formation de la discontinuité, c'est celui où le solide prend une vitesse instantanée.

On peut alors calculer tous les éléments de la discontinuité

qui coïncide au début avec la surface du solide ; on peut en particulier déterminer les pressions en chaque point de la surface et, par suite, la résistance instantanée.

L'intérêt de cette question provient de ce que, si l'on envisage le mode d'action de l'air, on peut reconnaître deux cas extrêmes : dans le premier cas, la résistance se développe instantanément, c'est le régime de choc dont nous venons de parler; dans le second cas, la résistance se développe, au contraire, en un temps qui, théoriquement du moins, doit être très long et qui conduit au régime établi.

Dans les circonstances courantes on se trouvera, en général, en présence de cas intermédiaires entre les précédents, et il est vraisemblable que la résistance correspondante sera aussi intermédiaire entre celles qui correspondent aux deux cas extrêmes ; si donc l'on connaît ces dernières valeurs, on pourra avoir une première idée de celle qui correspond au cas intermédiaire. Les valeurs trouvées pour la résistance instantanée sont, aux vitesses usuelles, très notablement supérieures à celles qui correspondent au régime établi.

Par exemple, pour un plan de un mètre carré de surface, se présentant normalement, la résistance opposée par l'air, à la vitesse de 20 mètres par seconde, est d'environ 29,200 Kg. dans le régime établi et de 1673,500 Kg. dans le régime de choc ; soit 57 fois supérieure.

Considérons le cas du vol des oiseaux : dans le coup d'aile, le régime, d'ailleurs variable d'un instant à l'autre, sera intermédiaire entre le régime établi et le régime de choc, et, par suite, la résistance pour une vitesse voisine de 20 mètres devrait être calculée en partant non pas du nombre 29,200 Kg. correspondant au régime établi, mais d'un nombre intermédiaire entre ce dernier et 1673,500 Kg. On se rend donc compte immédiatement que l'oiseau peut sans doute disposer d'une force de sustentation très supérieure à celle que l'on était porté à lui attribuer, en n'envisageant que le régime établi; et, par suite, le phénomène du vol perd le caractère quelque peu mystérieux qu'on lui attribuait.

Des tables permettent de trouver facilement les valeurs de la pression développée dans le mouvement par tranches ou dans le régime de choc.

La troisième partie de l'ouvrage est consacrée à l'étude qualitative des propriétés du mouvement dans les environs du solide.

Enfin la quatrième partie a pour objet la question d'ordre pratique qui est le but même de l'étude de la résistance de l'air : calculer numériquement la valeur de la vitesse en chaque point du solide. On en déduit immédiatement la pression et, par suite, la résistance.

Cette étude n'est donnée que pour les cylindres indéfinis et pour des vitesses de l'ordre de celles que l'on rencontre dans les applications autres que l'artillerie.

Le premier chapitre contient des notions générales relatives aux formes analytiques à utiliser.

Le second chapitre renferme l'exposé de la méthode employée d'abord par Kirschoff pour le plan normal, puis par lord Rayleigh pour le plan oblique.

Ces auteurs admettent, qu'à l'arrière du plan, se forme une masse gazeuse, entraînée avec le solide, et immobile par rapport à lui ; cette masse serait à la pression primitive du fluide. En utilisant les formules relatives au plan normal, on trouve bien les particularités signalées par l'expérience, mais la valeur calculée de la résistance diffère de la valeur vraie d'une quantité qui est très sensiblement égale à la différence entre la pression à l'arrière admise par les auteurs et la dépression qui résulte de l'expérience.

D'autre part, si l'on examine la formule de lord Rayleigh on voit que, quand l'angle d'attaque diminue, on ne rencontre aucune particularité et que le point de rencontre du filet et du plan n'atteint le bord d'attaque que pour une inclinaison nulle ; comme l'expérience prouve qu'au contraire ce point doit atteindre le bord d'attaque pour une inclinaison de 36 degrés, on peut en conclure que les formules ne donnent pas une représentation suffisamment approchée du phénomène. L'hypothèse faite sur la valeur de la pression à l'arrière paraît en être la cause immédiate.

Il était naturel, vu les résultats déjà assez approchés donnés par les formules de Kirschoff et de lord Rayleigh, d'essayer des expressions de formes voisines, mais un peu plus générales, de façon à pouvoir exprimer qu'il y a effectivement dépression à l'arrière.

Des tables numériques construites pour des valeurs décroissantes de l'angle d'attaque, entre 90° et 36°, donnent le coefficient de résistance et permettent de se rendre compte que la formule adoptée suit bien, dans ces limites, la courbe expérimentale.

Pour les angles d'attaque inférieurs à 36° le régime d'écoulement change et on est conduit à utiliser une nouvelle forme analytique.

En réalité, le problème tel qu'il se pose dans ce cas est sensiblement plus compliqué que dans le cas précédent, car, en principe, il faudrait tenir compte de l'épaisseur de la plaque.

Si on suppose, pour prendre un exemple simple, que les deux faces de la plaque, supposée très mince, soient raccordées par un demi-cylindre tangent aux faces, d'après ce que l'on sait de l'écoulement sur un cylindre, le filet venant rencontrer celui-ci en un point situé vers l'avant y prendra une vitesse nulle et se divisera en deux parties : l'une d'elles s'écoulera le long de la face avant du plan, et sera en compression sur le bord du plan ; l'autre partie du filet s'écoulera vers l'arrière tangentiellement au plan et sera en dépression sur le bord. On est alors conduit à admettre que ceci aura encore lieu, quand l'épaisseur du plan diminuera jusqu'à devenir très petite, et alors, pour un plan très mince, on supposera 1° que la vitesse est nulle sur le bord, 2° que le long de chaque filet dédoublé la vitesse varie très rapidement.

La formule choisie satisfait à ces diverses conditions ; les valeurs du coefficient de résistance, calculées comme précédemment pour des angles d'attaque variant de 36° à 10°, montrent que les formules utilisées suivent très exactement les valeurs expérimentales.

Lorsque l'angle d'attaque tombe en dessous de 10°, un nouveau changement de régime se produit ; le filet arrière suit le plan ; mais la distribution des vitesses est très différente sur les deux faces du plan.

A l'avant, la vitesse croît constamment de la valeur zéro, au bord d'attaque, à la valeur limite qu'elle prend sur le bord opposé ; à l'arrière, la vitesse croît, passe par un maximum très voisin du bord d'attaque, puis tend vers la même limite que ci-dessus mais par des valeurs décroissantes.

Le chapitre III est réservé à l'étude de la résistance du cylindre indéfini.

L'auteur a utilisé en premier lieu la méthode des séries trigonométriques, et en second lieu une méthode analogue à celle qui a été employée pour le plan.

Les calculs numériques, faits avec les formules déduites de l'une et l'autre méthode, montrent qu'elles suivent d'une façon satisfaisante les valeurs expérimentales.

Il convient de signaler à ce sujet les différences très sensibles que l'on trouve, d'une expérience à l'autre, pour le coefficient de résistance. Elles ont une cause et proviennent des variations que, du fait de la période d'établissement du régime, subit la masse entraînée avec le solide.

Par le résumé qui précède, le lecteur pourra se rendre compte que le problème de la résistance de l'air est beaucoup plus étendu et plus complexe que l'on n'est porté à le croire tout d'abord. Son étude embrasse un certain nombre de phénomènes connexes dont quelques-uns sont encore peu connus, et qui avaient pendant longtemps échappé à l'observation.

Il ne paraît pas que l'on puisse traiter la question, sous la forme usitée en physique mathématique, si l'on n'aborde, en même temps, l'étude de la période d'établissement du régime permanent, étude qui, il faut bien le dire, paraît particulièrement difficile.

C'est pourquoi il est réellement utile, au point de vue des recherches qui ont des rapports avec les lois de la résistance de l'air, d'envisager l'emploi de représentations approchées, analogues à celles dont on trouve des exemples dans le remarquable ouvrage que nous venons d'analyser, où s'affirme, une fois de plus, la haute maîtrise de M. l'Ingénieur général Jacob pour explorer les parties encore mal connues du domaine de la mécanique appliquée.

Ph. du P.

XIV

Lois mathématiques de la résistance des fluides (Théorie de l'hélice), par H. Willotte, inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées (ouvrage faisant partie de la *Bibliothèque de Mécanique appliquée et Génie* de l'*Encyclopédie scientifique*. — Un vol. in-18 jésus de 302 pages. — Paris, Doin, 1921.

Ce volume, paru en même temps que celui de M. Jacob dont il est rendu compte dans cette même livraison de la Revue ne fait nullement double emploi avec lui. On peut dire en gros que M. Jacob étudie la question pour le cas des grandes vitesses relatives, comme celles qui se rencontrent dans le mouvement des projectiles dans l'air, tandis que M. Willotte l'envisage pour le cas des vitesses modérées (solide progressant dans un liquide; avion dans l'air...).

Dans un cas comme dans l'autre, le point de départ est, bien entendu, pris dans les données de l'expérience. Aussi M. Willotte commence-t-il, dans son Livre I, par fournir un exposé des principales lois expérimentales concernant la résistance des fluides, en prenant pour guide les importantes recherches effectuées à ce sujet par MM. le colonel Renard, Rateau, le colonel Lafay, Eiffel, etc.

Le Livre II a pour objet la théorie de la résistance des fluides incompressibles, ici présentée dans des conditions autres que celles généralement considérées jusqu'ici, et auxquelles l'auteur a été conduit à s'en tenir par son expérience de technicien. Ainsi que M. Appell a eu occasion de le rappeler récemment à l'Académie des Sciences (C. R. — Séance du 26 octobre 1920), en indiquant comment sont exposées, dans la 3me édition du Tome III de son *Traité de Mécanique rationnelle,* les belles recherches de M. Villat sur les mouvements d'un fluide parallèles à un plan fixe, on pose d'ordinaire le problème de la résistance d'un fluide en se demandant quel sera le mouvement de ce fluide (regardé comme incompressible) lorsque l'on y place *un obstacle fixe de forme déterminée à l'avance.*

Le point de vue, tout différent, auquel s'est placé M. Willotte dans son ouvrage, peut se définir comme suit : quelle forme faut-il donner à un solide en état de translation à vitesse constante dans un liquide incompressible s'étendant indéfiniment tout autour du solide et en repos aux très grandes distances de celui-ci, pour que les filets fluides glissent *sans discontinuité* le long de la surface indéformable du dit solide ?

Le problème ainsi posé est assurément plus restreint que celui envisagé tout d'abord ci-dessus, puisqu'en sont exclues toutes les formes de solide qui pourraient déterminer des discontinuités dans le liquide. Mais il n'en est pas moins intéressant, attendu que, pratiquement, les constructeurs de carènes de navires et de piles de ponts (pour qui l'étude de ce problème se présente avec un caractère utilitaire) sont libres de choisir comme il leur convient les lignes d'eau de leurs carènes et les sections droites de leurs piles. Ils peuvent donc toujours les tracer conformément aux indications résultant de la solution du problème tel qu'il vient d'être posé en second lieu. Et, dans ces conditions, la question de la résistance peut être traitée dans toute sa généralité, non seulement dans le plan, mais dans l'espace, sans aucune restriction.

Cette question peut, au reste, être envisagée comme dérivant

d'un cas d'application d'un principe général récemment énoncé par M. Lecornu (C. R. de l'Ac. des Sc., du 8 novembre 1920), d'après lequel « un ensemble quelconque de courbes ne saurait, en général, être regardé comme constituant un système possible de trajectoires pour le mouvement permanent d'un liquide sous l'action de forces dérivant d'un potentiel ».

Ce cas de forces dépendant d'un potentiel est, en effet, celui qui se réalise nécessairement lorsqu'un corps solide est en mouvement de translation à vitesse constante, en mouvement permanent, par conséquent, dans un liquide indéfini dans tous les sens, puisque les vitesses de toutes les particules liquides sont nécessairement nulles aux distances infinies où l'action résultant de la présence du solide ou translation s'éteint complètement. Dès lors, il est naturel, ainsi que le fait constamment l'auteur, de prendre pour surface antérieure du solide indéformable (carène ou pile de pont) en mouvement relatif dans le liquide indéfini, une surface ayant pour génératrices des courbes propres à servir de trajectoires aux particules liquides, suivant le principe de M. Lecornu.

Les génératrices dont il s'agit, telles qu'elles sont étudiées aux chapitres II, III et IV du Livre II, sont de deux sortes : les unes s'étendent à l'infini en avant et en arrière du solide en mouvement relatif, en admettant des asymptotes parallèles à la direction de translation de ce solide, en sorte que, dans ce cas, le solide devrait avoir, théoriquement du moins, une proue et une poupe indéfiniment prolongées. Pratiquement, on limitera cette proue et cette poupe à des sections droites normales à la direction de translation, ces sections étant choisies, celle de la poupe en une région quelconque du solide, celle de la proue, assez en avant pour que les trajectoires s'y confondent sensiblement avec leurs asymptotes, elles-mêmes très voisines de l'axe de figure parallèle à la direction de translation. On est ainsi conduit théoriquement, on le voit, à la nécessité des formes de carène très effilées du côté de l'avant, consacrées par l'expérience journalière constante.

Les autres formes de génératrices, étudiées au chapitre IV du Livre II, au lieu de se prolonger jusqu'à l'infini dans la direction de la translation, ou de l'axe de figure du solide en mouvement, viennent couper cet axe à angle droit. On est ainsi amené à examiner particulièrement le cas des carènes et piles arrondies du côté de la proue (tête de poisson). Ce cas donne lieu, comme le fait remarquer l'auteur, à un véritable problème

de *déterminisme*, dont l'exemple est assez rare en mécanique et qui se pose comme suit : que l'on suppose au milieu d'une salle par où s'écoule une foule nombreuse une colonne dont la section droite offre un axe parallèle à la direction du mouvement de la foule. Les personnes qui se trouveront dans la file prolongeant cet axe auront, au moment où elles atteindront la colonne, à prendre une rapide détermination pour infléchir leur mouvement soit d'un côté, soit de l'autre de cette colonne. Si, au lieu d'une foule, il s'agit d'un courant liquide, l'auteur montre que les particules liquides, arrivant dans l'axe de la section droite, se divisent également pour contourner celle-ci, leur vitesse s'annulant au moment précis où elles atteignent l'obstacle, ce qui a pour effet de produire, sur le milieu de la face avant, ce que l'auteur appelle un *point de calme* dont l'observation est, au reste, facile, notamment en temps de crue, sur une pile de pont à avant-bec circulaire (comme il en existe au Pont de la Concorde, à Paris).

L'auteur traite également du paradoxe de d'Alembert qui consiste, comme on sait, en ce que, contrairement aux enseignements constants de l'expérience, la résistance éprouvée par une carène symétrique par rapport à son maître-couple (telle que serait une carène en forme d'ellipsoïde) devrait être nulle, les filets liquides semblant devoir alors, eux aussi, se disposer symétriquement par rapport au maître-couple ; or, il n'en est rien, l'auteur faisant voir nettement que, dans les conditions de mouvement continu supposées par le paradoxe de d'Alembert, les asymptotes des trajectoires liquides, à l'arrière du solide en mouvement, sont nécessairement plus éloignées, qu'à l'avant, de l'axe de figure de ce solide, en sorte que la disposition symétrique des filets liquides, primitivement supposée, est irréalisable. C'est encore là un fait tombant sous l'application du principe général sus-visé de M. Lecornu.

La masse liquide entourant le solide a, jusqu'ici, été supposée s'étendre indéfiniment dans tous les sens. La présence d'objets fixes au sein de cette masse est, on le conçoit, de nature à faire naître quelques perturbations dans les effets prévus par la théorie précédente. L'auteur, s'attachant à cette étude, montre que les grandeurs de ces perturbations sont de l'ordre du carré du rapport de la plus grande dimension transversale du solide à la distance de l'obstacle le plus voisin, et qu'elles deviennent rapidement très faibles quand cette distance est tant soit peu notable.

Le Livre III est consacré à l'étude, suivant toujours les mêmes principes, du mouvement de l'hélice propulsive dans un liquide. L'auteur y détermine quelle doit être la forme de la face active d'une aile d'hélice pour que le liquide puisse glisser sur elle tout en restant en état de mouvement permanent et continu. Il est ainsi amené à reconnaître qu'il convient de donner aux divers éléments de cette face une torsion, par rapport à la direction de l'arbre de rotation de l'hélice, d'autant plus grande qu'ils sont plus éloignés de l'axe, ce qui a pour conséquence d'augmenter notablement, à égalité de diamètre de circonférence extérieure et de vitesse de rotation de l'hélice, la force de propulsion de l'hélice, ainsi qu'on pouvait d'ailleurs le prévoir *a priori*.

Le Livre IV a pour objet de montrer comment les résultats précédemment établis s'étendent au cas des fluides compressibles lorsque les vitesses de progression y restent modérées (de l'ordre de grandeur de 60 à 80 m. par seconde), ainsi que cela a lieu dans les conditions ordinaires de la navigation. On saisit par là tout l'intérêt de l'ingénieuse théorie mathématique développée par M. Willotte.

Ph. du P.

XV

Résistance et construction des bouches a feu. Autofrettage, par L. Jacob, Ingénieur général de l'Artillerie navale, Conseiller technique aux Établissements Schneider (Ouvrage faisant partie de la *Bibliothèque de Mécanique appliquée et Génie* de l'*Encyclopédie scientifique)* ; 2e édition. — 2 vol. in-18 jésus de xxi-307 et 265 pages. — Paris, Doin, 1920.

Cette seconde édition « revue, corrigée et augmentée » diffère très notablement de la première, parue, en un seul volume, en 1909, et dont une analyse bibliographique a été publiée dans la Revue (1). C'est qu'aussi bien l'état de la question a subi depuis 1910, et, plus particulièrement, depuis la guerre, des modifications profondes se ramenant aux trois points principaux que voici : 1° le mode de fonctionnement du frettage ordinaire ; 2° l'apparition de l'autofrettage ; 3° la mise en œuvre des diverses théories à l'aide de la nomographie.

On sait que la première théorie du frettage, déduite des

(1) Livraison de juillet 1909, p. 274.

équations de Lamé, et qui a surtout été développée par le général Virgile, était fondée sur la limitation directe des efforts. Les progrès récents réalisés dans ce genre d'étude ont permis de reconnaître qu'une pareille méthode est loin d'être satisfaisante et qu'il est préférable de se fixer la valeur des allongements qui ne doivent pas être dépassés. Ces vues nouvelles ont introduit dans la théorie des modifications importantes dont M. Jacob a tenu exactement compte dans cette nouvelle édition.

Quant à l'autofrettage, systématiquement étudié au Laboratoire central de la Marine de 1910 à 1913 (c'est-à-dire postérieurement à l'apparition de la première édition du présent ouvrage), il n'a pénétré dans le domaine des réalisations industrielles que lors de sa mise en pratique par les Établissements Schneider, due, pour une bonne part, à l'action personnelle de M. Jacob, et qui s'est trouvée définitivement imposée par les nécessités de la guerre. Nous rappellerons d'ailleurs en quoi consiste le principe de cet autofrettage, en empruntant cette indication au texte même de l'auteur.

« Si, dans un tube primitivement homogène, on développe des pressions croissantes, la dilatation maximum dans les couches successives, d'abord purement élastique, varie en sens inverse du rayon de la couche où on la considère et a, par suite, sa plus grande valeur à la surface interne du tube.

» Dès que la pression atteint une grandeur que nous savons calculer, les dilatations permanentes font leur apparition.

» Localisées au début dans les couches voisines de la surface interne, elles progressent vers l'extérieur quand la pression continue à croître, et, si cette pression devient suffisante, elles s'étendent finalement au tube entier.

» Les dilatations permanentes ainsi réalisées à l'aide d'une pression intérieure P_0 vont en diminuant de grandeur relative de l'intérieur à l'extérieur. Il s'ensuit que, si l'on supprime la pression P_0, le tube revenu au repos se trouve dans un état d'équilibre contraint, caractérisé par ce fait que chaque couche tend à comprimer celle qui est à son intérieur et à être comprimée par celle qui lui est extérieure.

» On voit donc que les couches successives sont placées les unes sur les autres comme le seraient des frettes minces emboîtées avec serrage.

» *C'est cet état spécial qui constitue l'autofrettage.* »

Avec la maîtrise mathématique qui s'affirme dans ses diverses publications, l'auteur développe en grand détail l'étude de

l'équilibre élastique autofretté et du retour à la pression zéro après autofrettage, et il en déduit un mode simplifié, ramené à une forme aussi simple que possible, pour l'étude d'un projet.

M. Jacob a d'ailleurs soin de faire remarquer que le canon autofretté se présente comme très supérieur au canon fretté ordinaire. D'une part, en effet, « le mode de réalisation de l'autofrettage, où la pression de construction atteint une valeur très supérieure à la pression normale de tir et est exercée pendant un temps incomparablement plus long, est de nature à mettre en évidence tous les défauts locaux », et d'autre part, l'emploi de l'autofrettage permet d'éviter le déplacement des éléments d'un canon fretté les uns par rapport aux autres, d'où peuvent résulter de sérieux inconvénients, en particulier au point de vue de la manœuvre des culasses.

Enfin, nous avons dit qu'une des caractéristiques de cette nouvelle édition est l'emploi systématique de la nomographie, disons de façon plus précise : de la méthode des points alignés, pour effectuer tous les calculs que comporte l'application de la théorie. Il se trouve, en effet, que les équations ici rencontrées rentrent dans le type, non représentable par l'ancienne méthode de l'entre-croisement, auquel s'applique si aisément la méthode des points alignés de M. d'Ocagne dans le cas d'un réseau de points à deux cotes. Les dix nomogrammes ainsi construits par M. Jacob, par lesquels se termine le Tome II, viennent s'ajouter au très grand nombre d'applications pratiques déjà connues de la même méthode, qui s'est encore enrichi pendant la guerre, notamment de ceux que M. Jacob a donnés pour le calcul aussi rapide que possible des tables de tir (dont les Établissements Schneider ont fait l'objet d'une belle publication non mise dans le commerce) (1), et de ceux aussi qui ont été établis sous la direction de M. d'Ocagne lui-même (alors mobilisé comme lieutenant-colonel et chef de la section de nomographie de l'Armée) pour obtenir, d'un seul coup, les valeurs des éléments initiaux du tir, corrigés de toutes les influences atmosphériques et autres (température, pression barométrique, vitesse du vent, etc...) qui viennent en altérer la valeur.

Ph. du P.

(1) Schneider et Cie, *Solutions nomographiques des problèmes de balistique extérieure.* — Un vol. in-4° de 287 pages ; Paris, 1919.

XVI

La théorie électrique moderne, par Norman R. Campbell, traduction A. Corvisy. Un vol. in-8° de xii-464 pages. — Paris, A. Hermann et Fils, 1919.

Voici, sur les derniers développements des théories modernes de l'électricité, un beau et bon livre, d'un genre bien différent de ceux que nous voyons paraître tous les jours pour mettre le public cultivé au courant des plus récents progrès de la science. Il ne s'agit pas ici d'un exposé simplifié, et donc d'exactitude très relative, des remarquables découvertes qui ont signalé le commencement de ce siècle et des ingénieuses théories qui servent à les expliquer ; mais d'un examen critique de ces mêmes théories, supposées déjà connues, ainsi que des faits qui leur servent de base. L'auteur s'en explique très nettement dans sa Préface.

« Toutes les tentatives de vulgarisation, dit-il, qui si rarement atteignent leur but, ont été franchement abandonnées et l'on suppose chez le lecteur une connaissance assez complète de la physique plus ancienne. Le livre s'adresse à ceux qui, possédant une telle connaissance, désirent étudier le développement plus moderne de la science..... J'ai essayé d'exposer le sujet dans son ordre logique, d'analyser les raisonnements par lesquels on établit la liaison entre eux de phénomènes divers, et de tourner l'attention spécialement sur les hypothèses introduites. Bien que je n'aie pas conservé l'inepte restriction de l'analyse aux *méthodes élémentaires* (car peut-on comprendre la théorie électrique moderne si l'on n'est familiarisé avec le calcul ?), mon principe a toujours été de ne recourir au calcul qu'autant et lorsqu'il est indispensable pour faire saisir la suite du raisonnement. »

Hâtons-nous d'ajouter, pour l'édification du lecteur français ou belge, que le calcul se rencontre souvent sous la forme vectorielle, dont l'emploi est général en Angleterre. Le traducteur donne, à l'intention de ceux qui n'en ont pas la pratique, une table de traductions en formules usuelles des principales formules vectorielles qui se trouvent dans l'ouvrage. Au reste, calculs et raisonnements sont présentés sous une forme très condensée, et seulement dans la mesure où le demande la discussion des principes. Du fait de cette concision voulue, l'ouvrage n'est pas de ceux qui se lisent par manière de délas-

sement ou de distraction. Mais il n'en est pas moins parfaitement adapté à son but, clair, méthodique, précis, sage dans ses appréciations, bien que, naturellement, on ne doive pas s'attendre à voir tout le monde adopter sans réserve toutes les interprétations qu'il donne. L'auteur, en effet, expose les doctrines avec le souci que n'ont pas eu, le plus souvent, leurs auteurs, de les concilier dans une synthèse générale qui les embrasse toutes. Après avoir expliqué la structure de l'atome d'après J. J. Thomson et J. Stark, il observe lui-même, non sans humour (p. 406), qu'il n'est pas certain que chacun de ces auteurs veuille accepter dans tous ses détails l'exposé qu'il a donné de ses théories.

L'ouvrage se divise en trois parties. Première partie : *la théorie électronique*. Propriétés de l'électricité, diélectriques, conducteurs électrolytiques et métalliques, conduction dans les gaz, susceptibilité magnétique, magnéto optique. — Deuxième partie: *rayonnement*. Rayons des substances radioactives, lumière, radiation complète et structure de la matière, rayons X et rayons gamma. — Troisième partie : *électricité et matière*. Propriétés de la matière, structure de l'atome, propriétés des systèmes en mouvement.

Ce dernier chapitre, M. Campbell le reconnaît lui-même, est un hors-d'œuvre. Il s'occupe, d'une façon très intéressante d'ailleurs, de la fameuse théorie de la relativité d'Einstein. Deux courts appendices, l'un sur l'éther, l'autre sur l'aberration, se rattachent au même sujet.

La traduction, revue et complétée par l'auteur, date d'avant la guerre. Quelques ajoutes et retouches ont été faites, notamment l'introduction de la théorie de l'atome de Bohr. Il y a une table alphabétique des noms cités dans l'ouvrage. Nous ignorons si le texte original comportait, suivant le louable usage anglais, une table analytique des matières. Sa disparition serait regrettable.

Cet aperçu permet de se rendre compte de l'étendue des matières embrassées par le plan de M. Campbell, mais il faut avoir lu l'ouvrage avec attention, pour se rendre compte de la conscience et de la compétenee avec lesquelles la tâche a été exécutée. C'est à coup sûr le fruit d'un travail considérable et le résultat est un véritable monument dans tous les sens du mot, et par l'ampleur et l'harmonie de ses proportions, et par l'imposante et fidèle image qu'il fixe en ses pages de l'état actuel des théories électriques.

V. S.

XVII

Space, time and gravitation. An outline of the general relativity theory, par Eddington, A. S. — Un vol. de VII + 218 pages (23 × 15), avec 20 fig. dans le texte et une planche hors texte. — Cambridge, University Press, 1920.

Partisan convaincu de la théorie physique de la relativité, sous la forme généralisée par Einstein, l'auteur s'est proposé dans ce livre de la mettre à la portée du profane. Il s'est efforcé de recourir le moins possible à la technique mathématique des formules et des calculs, et de multiplier comparaisons et schémas pour soutenir l'imagination dépaysée dans l'espace-temps einsteinien. J'avoue qu'il n'a pas réussi à éclairer pleinement pour moi cet ensemble de questions, d'ailleurs très obscures et très controversées. L'aperçu qu'il en donne est toutefois bien suggestif.

Voici, en un résumé très succinct, comment d'après lui la théorie de la relativité réalise le but d'une théorie physique, qui est d'exprimer de la manière la plus compréhensive les relations entre les phénomènes. Il s'agit de débarrasser autant que possible les phénomènes de tout ce que l'observateur y met de subjectif. Le monde vu par un seul œil n'a que deux dimensions ; mais l'homme par ses deux yeux prend sur le monde deux vues différentes ; grâce à la sensation du relief suggérée par une synthèse qui s'opère dans le cerveau, il arrive à se représenter couramment le monde à trois dimensions. Dans celui-ci les phénomènes sont définissables indépendamment de la position choisie dans l'espace par l'observateur. Mais l'observateur peut être en toutes sortes d'états de mouvement qui entraîneraient pour lui des modifications dans l'aspect des choses. Pour tenir compte de ces différents états du sujet, pour exprimer les phénomènes indépendamment des éléments subjectifs correspondants, il faut ajouter une quatrième dimension aux trois reconnues précédemment au monde et définir les événements dans l'espace-temps, tels qu'ils se présenteraient à tout observateur, quel que fût son mouvement uniforme et de vitesse inférieure à celle de la lumière. Ce n'est pas assez ; le mouvement de l'observateur peut être un mouvement varié. Les transformations apparentes en résultant dans les choses seraient uniquement imputables aux variations de vitesse du

sujet. Le monde, pour être exprimé indépendamment de ces variations, devra être traduit dans le langage d'une géométrie Riemannienne. Enfin l'étalon de mesure adopté par l'observateur pourrait également changer, et ces changements de l'étalon déformeraient aussi pour lui l'univers. Une image plus objective de l'univers, valable pour toute grandeur supposée de l'étalon, est fournie par une géométrie plus générale encore que celle de Riemann.

L'auteur explique avec enthousiasme comment la physique est absorbée dans cette géométrie générale : à condition de partir d'éléments définissables mathématiquement, mais non point physiquement, on arrive à établir quelques équations différentielles, assez complexes, mais peu nombreuses, dont se déduisent comme des cas particuliers celles qui traduisent les principes et les lois de la mécanique et de la physique, par exemple, les principes de l'inertie, de la conservation des masses, ou plutôt de l'énergie, voire celui de l'entropie, les lois de la gravitation, voire de l'électromagnétisme.

Une physique ainsi construite présente assurément l'attrait d'une extraordinaire unité ; mais les éléments d'où l'on part sont obscurs et les partisans de la théorie nouvelle reconnaissent d'emblée que ces éléments ne sont pas vérifiables expérimentalement en eux-mêmes. On prétend justifier leur emploi par une vérification indirecte, en montrant que leur agencement dans le calcul mathématique mène à des conséquences susceptibles d'interprétation physique et justiciables de l'expérimentation. La méthode nous paraît irréprochable ; au fond c'est la méthode courante, dès qu'on veut rendre compte des phénomènes en fonction de leurs éléments suffisamment premiers et partant inaccessibles directement à l'expérience. Mais dans la théorie de la relativité, plus qu'ailleurs, semble-t-il, cette méthode offre le danger d'affirmer plus que les conséquences rigoureusement garanties par l'expérimentation. Si l'on se bornait à devancer l'expérience pour prévoir des vérifications possibles, ce serait parfait et travailler vraiment au progrès de la science ; mais il faut se garder de donner à des conventions d'ordre mathématique des interprétations contraires aux principes établis de la métaphysique.

Les nombreuses discussions suscitées autour de la théorie de la relativité, que constatait encore naguère M. Picard dans son allocution au Congrès des Mathématiciens de Strasbourg,

démontrent d'ailleurs que l'accord n'existe pas encore à son sujet, même dans la mesure où l'auteur le prétend.

H. Dopp.

XVIII

Introduction a la théorie des courants téléphoniques et de la radiotélégraphie, par J.-B. Pomey. — Un vol. de 509 pp. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Chargé du cours d'Electricité théorique à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, M. Pomey étudie dans ce volume les théories modernes de l'Électricité et leur application à la propagation des courants téléphoniques et à la radiotélégraphie.

L'ouvrage débute par une introduction mathématique, où sont exposés très sommairement les éléments du calcul vectoriel. Les définitions du gradient, de la divergence, du tourbillon, sont données au moyen du vecteur différentiel de Hamilton, auquel l'auteur rattache aussi la formule de Taylor. Le théorème de Gauss n'est pas mentionné ; la transformation d'une intégrale de surface en intégrale de volume est obtenue par la formule d'Ostrogradski. Celle-ci est simplement énoncée, sans démonstration, de même d'ailleurs que le théorème de Stokes. La propriété qu'un champ vectoriel peut être considéré comme produit par des masses agissant suivant la loi de Newton, et par des masses vectorielles agissant suivant la loi de Laplace, est formulée sous le nom de théorème de Vaschy par l'égalité

$$\mathbf{H} = \text{grad. } V + \text{rot. } \mathbf{A}$$

où V est le potentiel newtonien, et A, le potentiel vecteur. Ici encore la démonstration est omise, tandis que la formule qui donne la variation du flux d'un vecteur à travers une portion de surface en mouvement est démontrée, parce que cette formule est moins connue.

On notera que les grandeurs vectorielles ne sont pas figurées par des caractères spéciaux ; ce détail n'est pas dépourvu d'importance, car la notation, assez généralement introduite, de lettres imprimées en caractères gras, présente, au point de vue de la clarté, un avantage incontestable.

Ce premier chapitre d'introduction mathématique est suivi d'une partie théorique générale : la traduction mathématique

des faits fondamentaux de l'électricité et du magnétisme, les lois d'Ohm, de Laplace, l'induction, la théorie de Maxwell, la théorie de Lorentz. L'exposé est très concis, souvent sans démonstration. Ainsi, dans l'étude de l'énergie du champ, les calculs conduisant au vecteur de Poynting ne sont pas reproduits. L'auteur lui-même d'ailleurs le note ici expressément : on voit qu'il veut donner un simple résumé des théories exposées par le menu dans son grand ouvrage.

Il n'en est plus de même dans la seconde partie du volume, où l'on parle des applications à la téléphonie et à la radio télégraphie : courants périodiques et oscillations ; électro-cinétique et mécanique ; recherches de Pupin sur la téléphonie ; propagation des courants dans un câble ; l'antenne ; la résonance ; le régime périodique d'émission dans les postes à étincelles ; les oscillations entretenues ; les circuits oscillants et l'accouplement ; l'amortissement ; les capacités et les coefficients d'induction, et enfin, la propagation des ondulations électriques produites par un dipôle. Dans toute cette partie, les diverses questions sont traitées avec ampleur ; citons ici l'étude de la décharge oscillante d'un condensateur, de l'antenne (calcul mécanique de la solidité d'une nappe de fils, théorie des vibrations électriques dans l'antenne), et aussi l'exposé des méthodes de calcul : fonctions harmoniques, fonctions hyperboliques, méthode des répétitions, la synchronisation, etc. Dans la radio-télégraphie, les nouvelles lampes à vide à trois électrodes sont malheureusement laissées de côté.

Dans tout l'ouvrage la méthode d'exposition est fort claire : au début du chapitre l'auteur résume en quelques lignes les questions à traiter ; il reprend ensuite une à une les diverses propositions, et les développe avec une précision et une logique remarquables.

Dans son ensemble l'ouvrage est appelé sans aucun doute à rendre un réel service aux ingénieurs qui se proposent d'étudier les applications des théories modernes aux problèmes de la téléphonie et de la radio-télégraphie.

R. D. M.

XIX

Où en est la Météorologie, par Alphonse Berget. Un vol. in-12 de VII-300 pp. et 57 fig. — Paris, Gauthier-Villars et Cie.

Sous le titre général « Collection des mises au point », la maison Gauthier-Villars a entrepris la publication d'une série

d'ouvrages destinés à « donner au grand public une idée claire, précise et suffisamment complète de ce que l'on peut actuellement demander à une science donnée, des moyens d'investigation (science pure) et d'exploitation (science appliquée) qu'elle possède, et enfin des résultats auxquels elle est actuellement arrivée. C'est une série d'études particulières d'une portée très générale, documentant sans doute l'esprit, mais le meublant surtout, de manière à être plus utile à la culture générale des non-spécialistes qu'à l'instruction particulière des techniciens. Ce sont *des livres de lecture scientifiques,* conçus et rédigés avec la plus grande simplicité ; nulle formule n'arrêtera le lecteur qui prendra connaissance de l'ouvrage, et de nombreuses figures, schématiques ou photographiques, éclaireront constamment un texte remarquable par sa clarté. »

La mise au point de la Météorologie, due à la plume abondante et facile de M. A. Berget, a été prête la première. Elle remplit bien le programme annoncé par les éditeurs. Agréable à lire, aisée à comprendre, elle contient des aperçus généraux, des raccourcis, pourrait-on dire, de toutes les grandes questions de la Météorologie. On peut craindre que quelques lecteurs ne croient, après en avoir pris connaissance en deux ou trois heures, savoir au juste ce qu'est la Météorologie, à quoi elle s'occupe, et jusqu'à quel point elle a réussi. Peut-être eût-on pu leur demander un peu plus d'effort : car ce n'est que par là qu'ils se rendraient compte qu'il y a des difficultés qu'on leur aplanit charitablement, mais qui n'en sont pas moins la grande préoccupation des météorologistes de carrière. Le chapitre sur l'électricité atmosphérique nous semble particulièrement exposé à cette critique.

Il y a quelques négligences de détail. Par exemple, p. 47, les couleurs de l'arc-en-ciel sont purement et simplement assimilées à celles du prisme ; p. 121, il est question d'un *gravimètre* inventé par l'auteur, sans la moindre trace de définition ou de description ; p. 249, on semble accepter une évaluation de la température du soleil (six millions de degrés) bien peu vraisemblable, et qui est la seule citée.

V. S.

XX

Traité élémentaire de chimie, par P. Bruylants, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Louvain. Un vol. in-8°

(23 × 15) de III-542 pp. — Louvain, A. Uystpruyst ; Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Souvent, lorsqu'on examine un nouveau traité de chimie, on a l'impression d'un manque d'unité dans l'exposition des faits et des théories. C'est que les auteurs se sont efforcés d'introduire tant bien que mal les théories modernes dans un ouvrage conçu sans ces théories. Ce reproche, on ne pourra pas le faire au traité de Chimie que vient de publier M. le professeur Bruylants. Conçu tout entier suivant les vues et les données de la chimie théorique actuelle, ce traité de M. Bruylants donnera une nouvelle preuve qu'en somme il n'est pas plus difficile de faire entrer l'étudiant, dès l'abord, en contact avec les conceptions modernes, que de lui apprendre au commencement des conceptions anciennes et insuffisantes pour qu'il s'aperçoive dans la suite qu'il faut les remplacer.

Le traité de chimie reproduit, comme l'auteur le dit dans l'avant-propos, les leçons que depuis quelques années il professe à la Faculté des Sciences de l'Université de Louvain aux étudiants de candidature. Ce fait suffira à expliquer pourquoi il se distingue par certains caractères des ouvrages analogues. Et d'abord c'est un traité de chimie *pure ;* ce n'est donc qu'incidemment qu'il touchera aux sciences et aux arts voisins ; notamment, l'auteur n'a pas cru devoir s'arrêter à la description des expériences et des appareils, puisque cet enseignement ne peut être utile qu'au laboratoire.

Ce qui frappe surtout, c'est l'absence d'une première partie traitant *ex professo* de la chimie générale et théorique, non pas que l'auteur la dédaigne, bien au contraire, lui-même nous en avertit dans son avant-propos : « si les systèmes sont tous nécessairement incomplets .... s'ils ne sauraient représenter tout ce qui est dans la nature, mais seulement ce qui est dans l'esprit des hommes .... ils jouent néanmoins, et surtout dans cet enseignement élémentaire, un rôle important ». Aussi, n'a-t-il pas craint, comme il le dit encore, de réduire parfois la partie purement descriptive, guidé par le désir de donner un exposé plus complet des doctrines chimiques. Mais, « à l'exemple de quelques ouvrages réputés il a cherché à exposer les théories à mesure qu'il exposait les faits ». Dans l'enseignement oral, cette méthode présente incontestablement de grands avantages, mais il faut avouer que dans un livre imprimé, cela ne va pas sans présenter de graves inconvénients. Et d'abord, il est souvent

difficile de donner ainsi un exposé d'ensemble de la théorie qui ne peut dans ce système être logiquement traitée que par bribes et morceaux ; il est plus difficile encore pour le lecteur de se retrouver dans l'exposé de ces théories, surtout si, comme c'est le cas pour le présent volume, il n'y a ni table alphabétique, ni table analytique.

Quant à l'ordre suivi, l'auteur étudie ensemble les éléments appartenant à une même famille naturelle, et quoiqu'il ne dise encore rien de la classification périodique, c'est en réalité celle-là qu'il suit ; c'est ce qui explique pourquoi dans ce volume consacré aux métalloïdes il étudie l'étain et même le plomb, qui rentrent cependant plutôt dans la catégorie des métaux, mais qui appartiennent dans la classification de Mendeléeff à la famille du carbone, alors qu'il ne dit rien du bore, élément à propriétés métalloïdiques, mais appartenant dans la classification périodique à une famille de métaux. Pour des raisons faciles à comprendre l'auteur commence par l'étude de l'hydrogène, n'appartenant d'ailleurs à aucune famille ; vient ensuite l'oxygène avec l'eau. Il est à regretter qu'une disposition typographique malheureuse semble ranger l'oxygène dans la famille des halogènes.

Nous ne pouvons mieux terminer ce compte rendu qu'en faisant nôtres les mots par lesquels M. Ph. A. Guye, Professeur à l'Université de Genève, Correspondant de l'Institut de France, termine la Préface qu'il a écrite pour ce traité : « Tel qu'il se présente, ce cours de chimie sera donc vivement apprécié, non seulement par les étudiants de l'Université de Louvain, pour lesquels il a été spécialement écrit et qui ont pu utiliser déjà l'édition lithographiée publiée jusqu'à présent, mais encore de tous les jeunes chimistes qui, possédant déjà la technique générale du laboratoire, sont désireux de revoir, sous une forme concise et claire, tout ce qui constitue la grande charpente de la chimie moderne.

« Le cours du Professeur Bruylants est certainement aujourd'hui au nombre des guides les plus sûrs et les mieux informés auxquels ils puissent se confier. » Inutile d'ajouter que nous espérons voir bientôt paraître le reste de l'ouvrage.

Jos. Pauwels, S. J.

XXI

Ozone, par E. K. Rideal, M. B. E., M. A. (Cantab.), Ph. D., Professor of Physical Chemistry, University of Illinois (ouvrage de la Collection *A Treatise of Electro-Chemistry*, publiée sous la direction de Bertram Blount). Un vol. in-8° de IX-198 pages, avec 24 fig. dans le texte. — London, Constable, 1920.

L'ozone a fourni le premier exemple d'allotropisme d'un élément gazeux. On peut faire remonter à 1783 les débuts de son histoire. Van Marum, philosophe hollandais, constata que l'air avoisinant sa machine électrostatique acquérait une odeur (ὄζω, dégager une odeur) caractéristique par la production d'étincelles. Il faut citer ensuite Cruickshank (1801). Mais la découverte proprement dite de la substance est due à Schönbein (1840). Dans les dernières années, l'intérêt de l'ozone s'est accru, à cause de ses applications en chimie organique et dans l'industrie.

Voici la Table des matières de l'ouvrage. Nous avons fait quelques additions entre parenthèses. — Ch. I (p. 1-). Histoire de l'ozone. Ses propriétés générales (physiques et chimiques : ozonates, ozonides). — Ch. II (p. 16-). État naturel. — Ch. III (p. 28-). Production chimique. — Ch. IV (p. 44-). Production thermique (formule logarithmique de Nernst). — Ch. V (p. 57-). Préparation électrolytique (depuis Lenard, 1900). — Ch. VI (p. 70-). Production par radiation ultraviolette et par le choc ionique (description d'appareils). — Ch. VII (p. 91-). Production par décharge électrique silencieuse (question importante au point de vue mathématique et intéressante quant aux appareils utilisés). — Ch. VIII (p. 133-). La décomposition catalytique de l'ozone (catalyseurs : Ag, Cu, Co, Ni, Cr_2O_3, Pb_3O_4, V_2O_3, MnO_2, TiO_2, ThO_2, CeO_2, U_3O_8, W_2O_3, BaO, CaO, Hg, Pt, Pd, V). — Ch. IX (p. 142-). Applications industrielles (stérilisation de l'eau — différents appareils — purification de l'air, usages thérapeutiques, blanchiment des fibres, purification des huiles et des graisses, préparation de la vanilline, de l'héliotropine et de l'anisaldéhyde, détermination de la structure de substances organiques par la formation d'ozonides, synthèse du caoutchouc — cyclo-octadiène polymérisé — brasserie, conservation des aliments). — Ch. X (p. 179-). Méthode pour déceler et doser l'ozone.

Le volume se termine par un Index (p. 191-) des 340 auteurs (les plus fréquemment cités sont : De la Coux, Fischer, Harries, Houzeau, Ladenburg, Nernst, Otto, Schönbein, Vosmaer et Warburg) et par une Table analytique (p. 195-).

Les recherches originales de l'auteur se réduisent à peu de chose et l'ouvrage ne contient rien de neuf. Mais par ses indications bibliographiques, nombreuses et précises, il sera très utile, car la littérature du sujet est fort dispersée. M. Rideal a manifestement mis un soin extrême à collectionner et à coordonner les résultats. Il mentionne des problèmes à résoudre, ce qui aidera beaucoup aux progrès futurs. Aussi, et bien que le style laisse un peu à désirer, ce volume rendra de sérieux services.

M. Lecat.

XXII

I. Recherches sur la conformation et le développement des derniers segments abdominaux chez les Orthoptères, par L. Chopard. (Thèses présentées à la Faculté des Sciences de Paris pour obtenir le grade de docteur ès sc. nat. — Rennes, Oberthur, 1920 ; 352 pp., 723 + xiv fig., vii pl.

Il s'agit surtout d'une étude très fouillée de l'armure génitale des Orthoptères dans les deux sexes.

L'armure femelle était sans doute assez bien connue, puisque, dès 1853, H. de Lacaze Duthiers en avait fixé les traits essentiels ; il n'était pas de même de l'armure mâle. L'important mémoire de Peytoureau (1895) n'avait pu apporter sur ce point de solution quelque peu définitive ; l'auteur s'était trop exclusivement confiné parmi les *Oothecaria* et encore parmi certaines formes d'*Oothecaria* bien trop spécialisées. Ce dernier écueil a été soigneusement évité par M. Chopard : après avoir débrouillé la synonymie et rectifié la nomenclature des sclérites, il choisit un type pour chacune des six familles d'Orthoptères, et en étudie la morphologie des deux armures et leur développement post-embryonnaire. Ensuite, il s'applique à une revision comparative des extrémités abdominales chez 320 autres espèces. Les descriptions sont claires, précises et largement illustrées.

Ainsi, grâce à sa profonde connaissance de la systématique des Orthoptères, M. Chopard nous a enfin donné, pour le groupe d'insectes le plus primitif, un véritable traité de l'armure copuatrice.

Les vues synthétiques qui terminent l'ouvrage, sans être évidemment toutes absolument originales, sont également des plus intéressantes. Citons quelques opinions à titre d'exemples : Les styles sont assimilables à des rudiments de membres, les cerques aussi. Les cerques multiarticulés des *Dictyoptères* sont les plus primitifs, les longs cerques indivis de certains *Ensifères* résultent d'adaptations secondaires. Mais l'organe le plus caractéristique des Orthoptères, celui qui ne manque pour ainsi dire jamais, c'est l'oviscapte. Il doit avoir existé dès le principe dans le groupe ; sans doute les *Dictyoptères*, à certains égards très archaïques, n'ont qu'un oviscapte rudimentaire; cependant l'organe est bien développé chez *Grylloblatta*, qui a conservé une si forte somme de caractères primitifs. A l'origine, l'oviscapte n'eut probablement que quatre valves (comme chez *Lycocercus*, un paléodictyoptère ?).

Le pénis, simple dévagination sclérifiée du canal éjaculateur, a une origine plus récente que les pièces de l'oviscapte. Chez les *Ensifères* il n'y a pas de pénis, ni d'accouplement véritable. Ces insectes sont encore primitifs par leur spermatophore : tous les animaux pourvus d'un spermatophore datent au moins de l'anthracolithe. Les *Phasmidae* présentent un mélange des caractères les plus divers et semblent depuis très longtemps séparés de la souche commune ; quant aux *Locustidae (Acrididae)*, ils constituent un groupe très homogène et incontestablement récent.

M. Chopard donne également les raisons pour lesquelles il croit devoir négliger les caractères sexuels secondaires en phylogénie et résume ses idées sur les Orthoptères en un arbre généalogique.

II. Contribution anatomique et physiologique a l'étude de la reproduction chez les Locustiens (1). La ponte et l'éclosion, par P. Cappe de Baillon. (Thèses présentées à la Faculté des Sciences de Nancy). — Lierre, Van In et Cie [1919] et : La Cellule, XXXI [1920], pp. 1-245, xv fig., viii pl.

Ce travail a une orientation nettement différente du précédent; sans doute, la morphologie comparée ne laisse pas M. Cappe de Baillon indifférent, mais son attention s'est portée principalement sur les structures pouvant exercer une influence quel-

(1) = *Phasgonuridae.*

conque sur la vie de l'œuf depuis la sortie des gaines ovariques, jusqu'à son éclosion.

L'auteur montre que l'œuf n'est pas, ainsi qu'on l'a cru, fécondé dès l'oviducte commun. Car la spermathèque (qui recueille le sperme du mâle lors de l'accouplement) ne vient pas s'ouvrir dans l'oviducte : son canal aboutit réellement à une sorte de dôme surélevant le plafond de l'atrium périvulvaire. Or, à la concavité de ce dôme répond la convexité de l'œuf, correspondant à la face ventrale de l'embryon ayant achevé sa rotation (1) et c'est précisément de ce côté que sont forés, en nombre assez inconstant, les micropyles.

Après avoir étudié la manière dont s'effectue la respiration de l'œuf, M. Cappe de Baillon expose longuement la façon dont il chemine à l'intérieur de l'ovipositeur ou oviscapte. Il prouve, par l'étude anatomique et des expériences, que l'organe de la propulsion de l'œuf à l'intérieur de la tarière est la furca des valves internes. Il montre encore que les valves externes inférieures sont les vraies perforatrices, lors de l'enfoncement de l'oviscapte.

Il aborde l'intéressante question de la sériation des divers modes de ponte, mais se tient sur une prudente réserve à cet égard.

A propos de l'allure extraordinaire des pondeuses chez les *Phanéroptérides,* il explique pourquoi les mandibules de ces sauterelles saisissent les valves de l'oviscapte.

L'auteur traite encore du rôle, dans l'acte de la ponte, de la glande annexe de l'ovipositeur (dont les rapports anatomiques n'avaient pas été mieux compris que ceux de la spermathèque) et achève par de curieuses recherches sur le mécanisme de l'éclosion : présence non encore signalée d'un appareil de rupture (différenciation locale de l'amnios) sur le front de la larve. Cette éclosion, M. Cappe de Baillon a pu minutieusement l'observer sous le microscope, après l'avoir patiemment attendue durant de longs mois.

F. Carpentier.

XXIII

Lehrbuch der experimentellen Psychologie, von J. Fröbes, S. J., Professor der Philosophie an der philosophisch-theologischen Lehranstalt zu Valkenburg. 2 vol. grand in-8°, respecti-

(1) Sauf chez les *Phanéroptérides.*

vement de XXVII-605 et XX-704 pages. — Fribourg-en-Brisgau, Herder et Cie. 1917 et 1920.

C'est une tâche redoutable, aujourd'hui, que la confection d'un Traité de Psychologie expérimentale. Après une période d'extension rapide, et de prétentions démesurées, cette science trop jeune, mal servie par son objet fuyant et ses méthodes incertaines, avait déçu beaucoup d'espoirs, même chez ses adeptes les plus fervents. Devant la masse croissante de recherches incoordonnées qu'elle couvrait de son nom, observations menues, rebelles au contrôle, également éloignées, souvent, de tout intérêt théorique et de toute application pratique vraiment sérieuse, un découragement naissait de constater l'effroyable gaspillage de tant d'efforts. Ce désenchantement s'exprima, ici ou là, peu d'années avant la guerre, par des jugements d'un pessimisme évidemment excessif. Depuis, les impressions se sont tassées ; mais il subsiste quelque chose de la défiance d'hier : et surtout, l'on est rebuté, autant que jamais, à la vue de l'immense chaos qu'il faudrait organiser pour obtenir un tableau clair et exact de la Psychologie expérimentale dans son ensemble.

Le R. P. Fröbes, laborieusement et consciencieusement, s'est attelé à cette besogne. La compétence, il la possède à souhait, étant lui-même un spécialiste distingué, formé à bonne école, et un professeur de Psychologie très expérimenté. Nous croyons pouvoir dire qu'il a réussi dans son entreprise, autant du moins que le permettaient la nature des sujets traités et le point de vue qu'il s'était imposé.

Un mot de ce « point de vue », qui caractérise les deux volumes dont nous parlons. Leur véritable originalité ne réside pas dans l'orthodoxie catholique de leur auteur : dans celle-ci, nous verrons, à juste titre, une garantie de meilleure compréhension de certains phénomènes ; mais c'est tout ; car nous n'avons point à chercher, dans un ouvrage de pure science empirique, la défense de conceptions métaphysiques ou religieuses. Nous ne prétendrons pas non plus que ce gros Traité se distingue par une exceptionnelle limpidité, encore que le style en soit clair et l'acheminement méthodique : la multiplicité même des subdivisions, secours précieux pour la consultation intermittente, donne au lecteur, faute sans doute d'un lien organique assez évident, l'impression légèrement agaçante d'une broussaille. Était-il possible, d'ailleurs, dans l'état actuel de la Psychologie expérimentale, d'en écrire un exposé plus synthétique, plus fourni d'idées générales, plus simple à la fois et plus har-

monieusement lié ? Nous ne savons; car, s'il existe, en français, en anglais, et en allemand aussi, des Manuels ou des Traités plus dégagés d'allure que le livre du R. P. Fröbes, ils sont, selon les cas, ou trop élémentaires, ou trop incomplets, ou encore trop fortement marqués à l'estampille de leurs auteurs pour prétendre à une objectivité sereine : Manuels d'un homme ou d'une école, plutôt qu'inventaires d'une science. Le R. P. Fröbes s'est délibérément proposé autre chose : il cherche à être complet dans toute la mesure où le comportent 1309 pages, où l'on ne folâtre guère ; et de plus, il met un scrupule visible à demeurer avant tout le rapporteur exact des résultats acquis, des principales recherches et des tendances qui méritent mention. Sa critique personnelle, discrète et modeste, s'efface le plus possible — trop peut-être — derrière ce rôle d'enregistreur fidèle. Nous sommes tenté de regretter cette réserve: du moins y gagnons-nous ceci : d'avoir entre les mains, à défaut d'un livre plus suggestif ou plus profond, qui n'était peut-être pas possible à l'heure présente, un répertoire bien classé, extrêmement riche, où tous les recoins de la Psychologie empirique sont représentés par une fiche intelligemment et impartialement rédigée.

Dans la distribution de la matière de ses deux volumes, l'auteur s'en tient aux divisions générales communément adoptées. *Premier volume*, consacré presque exclusivement à la Psychologie de laboratoire : Sensations et sentiments élémentaires (3 chapitres). Représentations en général : combinaisons intensives ; représentations spatiales et temporelles ; pensées ; aperception et comparaison (7 chap.). Psychophysique : les méthodes ; la loi de Weber-Fechner ; le calcul des corrélations psychiques (3 chap.). Association des représentations, envisagée à différents points de vue (3 chap.). — Dans le *second volume*, les ramifications de son sujet entraînent souvent l'auteur en dehors du laboratoire, sur les terrains les plus variés. Signalons d'abord 3 chapitres consacrés aux troubles de l'association des idées et aux localisations cérébrales. Puis une section entière (6 chap.) sur les processus complexes de connaissance : attention ; conscience normale et pathologique du Moi ; mémoire ; fonctions intellectuelles supérieures (abstraction, jugement, raisonnement); imagination créatrice, langage. L'analyse des sentiments supérieurs, avec une étude spéciale du sentiment esthétique, de la mimique et de la physiognomonie, occupent une bonne centaine de pages (4 chap.). Sous la rubrique « Volonté » (Willensleben), se rangent 4 grands chapitres, dont

les deux derniers assez bigarrés : mouvements volontaires ; volitions ; idéaux de la vie (idéal professionnel, moralité et religion, ce dernier titre amenant, en subdivisions : méthodes de la psychologie religieuse, religion personnelle, religion des primitifs, ascèse et mystique) (1) ; personnalité et développement psychologique (psychographie, hérédité psychique, différence psychologique des sexes, développement psychologique de l'individu, enfance et jeunesse, psychologie sociale, rôle de l'imitation dans la vie sociale, facteurs psychologiques de la civilisation). Une dernière section traite des anomalies de la conscience (3 chap. : sommeil et rêves, hypnotisme et suggestion, maladies mentales).

A notre humble avis, les meilleurs chapitres sont ceux qui exposent les parties de la Psychologie expérimentale dont la technique est mieux fixée, surtout la Psychologie de laboratoire : l'auteur est là, manifestement, sur un terrain familier. D'autres chapitres, quoique élaborés très consciencieusement, trahissent une compétence moins sûre, ou bien, eu égard au petit nombre de pages qui leur est réservé, paraissent encombrés sans donner l'impression de profondeur.

Ces deux volumes, riches de science et regorgeant de détails, seront largement utilisés en dehors même de leur pays d'origine. Ils méritent ce traitement honorable.

J. Maréchal, S. J.

XXIV

Les paralogismes du rationalisme, *Essai sur la théorie de la connaissance,* par Louis Rougier, professeur agrégé de philosophie, docteur ès lettres. Un vol. in-8°, xiv-540 pages. — Paris, Félix Alcan, 1920.

Plus d'un lecteur de cette Revue aura parcouru avec intérêt un récent petit livre de M. Louis Rougier, intitulé : *La matéria-*

(1) Le R. P. Fröbes nous fait l'honneur de citer une de nos publications sur la psychologie des mystiques. Nous ne retrouvons pas notre pensée dans les résumés qu'il en donne, et profitons de l'occasion pour décliner toute responsabilité à ce sujet. Nous croyions avoir défendu, de tous temps, non seulement la vraisemblance psychologique, mais aussi le caractère strictement surnaturel des états mystiques supérieurs décrits par les grands contemplatifs catholiques. Les lecteurs du R. P. auront au contraire l'impression que nous inclinons vers des explications naturalistes... un peu simples. Ceci soit dit « ut suus veritati sit locus », car nous n'attachons aucune importance à ce minuscule malentendu littéraire.

lisation de l'énergie. L'auteur, dont la plume experte y démêle, à l'intention des gens cultivés, les théories les plus abstruses de la physique contemporaine, est pourtant avant tout un philosophe, et même un philosophe de métier. Nous en avions déjà pour garant, mieux que son titre d'agrégé de philosophie, les articles publiés par lui, ces dernières années, dans la REVUE DE MÉTAPHYSIQUE ET DE MORALE, et autres périodiques également respectables. Et voici, par surcroît, que M. Rougier nous présente aujourd'hui quelque chose comme son manifeste philosophique : un volume de 500 pages, touffu mais clairement écrit, « aboutissement de patientes recherches, dont beaucoup n'ont point vu le jour » et « promesse de travaux à venir » (p. 57).

Un écrit de cette portée — tant rétrospective que prospective — ne se laisse pas analyser, moins encore critiquer, en cinquante lignes. Toutefois, l'ayant lu avec l'attention sérieuse qu'il mérite, nous nous croyons autorisé à exprimer sans ambages le bien et le mal que nous en pensons.

D'abord, il ne sera pas superflu de définir le Rationalisme contre lequel on part en guerre : car M. R. ne prétend pas restreindre son objectif au rationalisme proprement dit (c'est-à-dire au dogmatisme ontologique, au réalisme des essences conceptuelles) dont les écoles cartésienne et wolfienne offrent le type achevé. Tout réalisme métaphysique est rangé, de force, sous la bannière rationaliste, et, à ce titre, pourfendu : « Nos investigations, annonce-t-on, auront principalement en vue le rationalisme classique, celui de Platon, d'Aristote, de saint Augustin, de saint Thomas, de Descartes, de Spinoza, de Malebranche, de Leibniz, de Condorcet, dont la période d'évolution s'étend des Socratiques aux Idéologues. Toutefois nous ne nous en tiendrons pas strictement à cette période. Comment, en effet, au sujet des pseudo-démonstrations des principes des sciences physiques, passer sous silence celles des « Philosophes de la Nature » ? Comment ne pas compléter par celle du Cantorisme l'étude du réalisme mathématique de Platon, qui a conduit les Rationalistes à voir dans les propositions de l'arithmétique et de la géométrie des exemples irréfutables de vérités nécessaires *a priori ?* Comment ne pas en venir à parler de Lotze, de Green, de Bradley, de Royce, à propos des antinomies créées par le réalisme ? Comment encore ne pas reconnaître dans la dialectique de Hegel et de Hamelin l'aboutissant logique, en même temps que l'entreprise la plus aventurée du Rationalisme ? » (pp. 56-57).

Evidemment, sur une armée rationaliste aussi peu cohérente, dont les unités se combattent souvent les unes les autres, il ne sera pas difficile de remporter quelques succès partiels. On fera bien de s'en souvenir aux endroits où M. R., emporté par la griserie de victoires dialectiques locales, proclame, un peu bruyamment peut-être, le triomphe de sa Logistique empiriste sur tout le front de l'*a priori* métaphysique.

Volontiers nous distinguerions, enchevêtrées dans l'ouvrage de M. R., quatre études d'inégale valeur. Nous dirons un mot de chacune d'elles.

I. *Une critique de systèmes philosophiques, soit ontologistes, soit rationalistes au sens ordinaire du mot.*

A ce groupement se rattachent, sous des nuances diverses, les écoles platonicienne et néoplatonicienne, les ultraréalistes médiévaux, Duns Scot, Descartes et ses disciples directs ou indirects, Spinoza, Leibniz et Wolff, puis, dans l'ambiance de la philosophie critique, Hegel et quelques penseurs plus récents. Que M. R. dénonce, dans ces systèmes trop exclusivement aprioristes, des paralogismes plus ou moins subtils, qui masquent des antinomies profondes, rien de mieux. Encore, devrions-nous faire, çà et là, quelques réserves.

Par exemple : la condamnation de Spinoza (p. 180 suiv.) est vraiment trop sommaire ; le rôle et la valeur des définitions fondamentales de l'*Éthique* apparaissent sous un jour moins défavorable lorsqu'on prend la peine d'appliquer à ce dernier ouvrage l'épistémologie du *De intellectus emendatione*. De même, l'appréciation portée sur Leibniz (p. 192 suiv.) nous paraît beaucoup trop sévère : sans doute, il y a, au fond des philosophies leibnizienne et surtout wolfienne, d'insurmontables contradictions, mais du moins l'incohérence, chez Leibniz, n'est point tellement à fleur de peau, et elle s'atténue singulièrement si l'on replace celui-ci, comme il convient, dans la perspective générale du cartésianisme. Il serait excessif de traiter Leibniz en bouc émissaire du rationalisme prékantien : les responsabilités sont partagées ; peut-être les plus lourdes remontent-elles à la fin du moyen âge. Un dernier exemple : sans professer aucune sympathie particulière pour Hegel, nous estimons que la critique de M. R. (p. 47 suiv.) entame à peine le « procédé dialectique » du terrible raisonneur : peut-être, en effet, est-ce aller un peu vite que d'écarter, en un tournemain, au nom de la logique, la « première synthèse hégélienne », en y tenant compte seulement de la « forme » et non de la « position » de l'être abstrait ; et puis, nous ne sommes pas tout à fait assurés que M. R. pénètre le sens exact de l'idée même de « synthèse dialectique », d'autant moins qu'il nous paraît confondre deux questions très différentes : celle de l'origine psychologique et celle de la fonction logique du terme synthétique.

II. *Une critique des principes premiers de la Mathématique, de la Géométrie et des Sciences physiques.*

Concédons à M. R. que les philosophes antiques et médiévaux n'ont pas toujours nettement distingué les principes de la géométrie et de la science du nombre, des principes de la métaphysique. Ils présentent indistinctement les uns et les autres comme des exemples de *principia per se nota,* sans souligner les éléments très spéciaux d'intuition que comportent les premiers. Cette confusion apparente — elle n'est qu'apparente, croyons-nous, dans les écoles aristotéliciennes — explique, et excuse, le choix assez mêlé des « instances » que M. R. oppose au réalisme ancien pris en bloc. Quant aux sciences physiques et naturelles, bien que soumises à certaines conditions métaphysiques générales, elles empruntent leurs principes propres à l'« abstraction » et à l'« induction », c'est-à-dire à l'expérience, assuraient déjà les Péripatéticiens ; et nous ne voyons pas trop ce que M. R. y trouverait à redire au nom de la stricte logique. Du reste, ses objections visent surtout la physique cartésienne et la philosophie naturelle des Transcendantalistes allemands.

Les chapitres consacrés par l'auteur à la critique, tant des prétendues démonstrations du postulat d'Euclide, que des preuves intuitives en Géométrie, en Analyse et en Mécanique, sont fort intéressants ; de même toute son étude, si brève soit-elle, sur le Réalisme mathématique en général et le Cantorisme en particulier.

Il nous plaît moins de rencontrer, là même, par endroits, un persiflage que d'aucuns estimeront présomptueux (par exemple, pp. 283-284). M. R. se gausse des philosophes anciens, qui citèrent souvent, comme exemple de « vérité nécessaire et éternelle », le théorème géométrique : « la somme des angles d'un triangle est égale à deux droits » ; il leur oppose triomphalement la possibilité des métagéométries du type lobatchefskien ou du type riemannien, dans lesquelles, en vertu de conventions initiales logiquement cohérentes, la somme des angles d'un triangle devient soit supérieure, soit inférieure à deux droits : « On voit par là, poursuit-il, la portée philosophique du mythe de Poincaré (hypothèse d'un univers lobatchefskien). Si celui de Voltaire, *Micromégas,* nous enseigne la relativité de nos sensations, celui de Poincaré nous montre la relativité et les basses origines empiriques de vérités réputées transcendantes. Les propositions géométriques, que les Rationalistes de tous les temps ont considérées par excellence comme des exemples typiques de vérités *a priori,* indépendantes de notre esprit et de la nature, dépendent au contraire étroitement des contingences physiques du milieu qui nous sert d'habitat... Même lorsqu'il s'évade de ce monde, emporté par le mirage de quelque fallacieuse scolastique, l'homme emporte la marque de

son attache originelle... La structure des solides, auxquels il s'est frotté dès l'origine, a déterminé pour une part sa structure mentale spécifique. L'argument des vérités nécessaires, bien loin de prouver l'existence d'un monde transcendant, ou d'un être nécessaire éternellement subsistant, prouve la dépendance étroite de l'homme et de son milieu » (pp. 285-284). N'en déplaise à l'auteur, voilà une conclusion qui ressemble bien fort à ce que les Scolastiques, dans leurs Traités des sophismes, appelaient un *latius hos*. Il est d'autres « vérités éternelles » que les axiomes ou théorèmes géométriques : la plus fondamentale, chez les philosophes antiques et médiévaux, est le « premier principe » revendiqué par Aristote contre les Sophistes, le « principe de l'être » ou le « principe d'identité », norme universelle des jugements. M. R. eût-il exorcisé de tout *a priori* la Géométrie euclidienne, qu'il n'aurait donc pas encore ruiné par la base l'argument des « vérités éternelles ». Mais il y a plus : M. R. peut avoir raison contre le pythagorisme platonicien : a-t-il également raison contre la Scolastique péripatéticienne ? Sous certaines conditions, les théorèmes arithmétiques et géométriques eux-mêmes deviennent analytiques, régis, de l'aveu de M. R., par les règles inflexibles de la logique formelle (p. 285) ; par exemple, *dans un espace euclidien*, la somme des angles d'un triangle est égale à deux droits ; ou bien : *étant donnée la divisibilité indifférente de la quantité*, il est impossible que 2 + 2 ne fassent pas 4. (Du reste, en un certain sens, *toute* proposition analytique est pareillement conditionnée, puisque jamais la considération précisive, statique, de la « forme » ne suffit à donner l'existence : la remarque est de S. Thomas non moins que d'Aristote). Même dans le cas où le jugement analytique n'exprime que conditionnellement une existence, la dépendance du conditionné à sa condition est affirmée inconditionnellement : elle représente tout autre chose que la ratification arbitraire de postulats conventionnels, elle ne se pose pas comme un simple fait, elle s'impose comme une nécessité *a priori*. N'est-ce point là ce que beaucoup de Scolastiques veulent dire en parlant de la nécessité absolue des théorèmes mathématiques ? Ils traitent ceux-ci comme des propositions analytiques, dont le sujet ne jouit point toujours, tant s'en faut, d'une réalité inconditionnelle ; la « vérité éternelle et nécessaire » n'y est pas, d'après eux, la nécessité objective de la condition ou du conditionné, mais la nécessité du lien entre la condition et le conditionné. Ils pourraient donc concéder à M. R. le caractère moitié conventionnel, moitié empirique, de l'espace euclidien et du nombre, sans laisser pour cela de reconnaître, dans la démonstration mathématique, quelque chose d'absolu, d'*a priori*, de nécessaire. — A vrai dire, ce serait concéder trop encore au nominalisme de l'auteur ; avant de nous laisser convaincre de l'origine purement empirique ou arbitraire des sciences de la quantité, nous exigerions un examen beaucoup plus approfondi aussi bien de l'idée kantienne d'une intuition *a priori* de la sensibilité, que de l'idée aristotélicienne et scolastique de la quantité comme « sensible commun ».

III. *Une critique du réalisme métaphysique d'Aristote et de S. Thomas.*

M. R. prétend dévoiler, dans le réalisme péripatéticien, la tare la plus caractéristique du rationalisme véritable : la confusion de la « forme » logique de la connaissance avec la « matière »

de celle-ci (p. 77 suiv.) ; disons, en d'autres termes : la prétention de tirer la « position » ou la « réalité » d'un objet, de la cohérence logique de sa définition, ce qui est le principe dernier et subtil de l' « argument ontologique » sous toutes ses formes.

A cette imputation, nous n'opposerons qu'une remarque : M. R. se méprend totalement sur l'épistémologie thomiste. Nous admettons volontiers, d'ailleurs, qu'il ait été induit en erreur par maints auteurs scolastiques eux-mêmes, inconscients de leur propre méthode, ou imbus d'esprit wolfien. Et nous savons gré à M. R. de la considération relative qu'il accorde à l'aristotélisme thomiste : visiblement, il le tient pour la pièce résistante du « rationalisme » et il rend de bonne grâce, à Aristote comme à S. Thomas, le meilleur hommage que puissent réclamer de grands philosophes : un effort consciencieux pour les bien comprendre. Malgré cela, en dépit d'une érudition scolastique plutôt riche, l'auteur méconnait la signification exacte du réalisme péripatéticien.

Si nous en avions l'espace, nous discuterions en détail les principaux passages où se trahit cette méconnaissance. En voici quelques-uns énumérés à titre d'exemples :

— Le chap. II : on y impute bien légèrement au Stagirite, et à une innombrable lignée de penseurs, une faute de logique formelle vraiment trop lourde : il est clair, de prime abord, qu'un élément important d'appréciation fait ici défaut.

— Les pp. 96 et suiv., où l'on suppose, à tort, la synonymie entre les expressions anciennes *Axioma* ou *Dignitas* et l'expression plus récente *Jugement analytique* (entendu au sens étroit et purement formel défini par Kant). Certes, la proposition *Ens et verum convertuntur* et autres semblables, qui expriment une relation — une « relation transcendantale » diront même les Scolastiques — n'appartiennent pas à la classe des jugements analytiques d'inclusion ou d'inhérence ; mais ce ne sont pas non plus des jugements synthétiques d'expérience, encore moins des synthèses purement conventionnelles. Quant au principe *Le tout est plus grand que la partie*, si souvent proposé comme exemple par les Scolastiques de toute école, nous ne comprenons pas ce qu'on prétend ici en y objectant la notion mathématique d'« ensembles infinis » (séries indéfinies), puisque l'acception du mot « tout », chez ces Scolastiques, est évidemment celle de « grandeurs définies ».

— La p. 121 : l'auteur se trompe en supposant que les Scolastiques qui appuient la nécessité des « vérités éternelles » sur l'identité logique sont acculés à cette conclusion fâcheuse : *si Deus non esset, nihilominus istae veritates essent verae ;* en effet, chez les Scolastiques non contaminés de nominalisme, il est entendu que l'identité logique elle-même se fonde sur l'Être ; or, *sublato Deo, tollitur Esse.*

— Les pp. 126 et suiv., où M. R. argumente contre la preuve *a constantia subjecti,* adoptée, par la plupart des Scolastiques, parmi les démonstrations

de l'existence de Dieu. L'auteur est distrait ; en ce qui concerne la moitié au moins des médiévaux, il y a maldonne. En effet, bien qu'une proposition analytique du type *Homo est animal rationale* constitue évidemment, pour employer l'expression de S. Thomas, une *propositio per se nota secundum se* en tant qu'elle exprime les notes mêmes de la définition ou de l'essence, cependant elle ne devient *per se nota quoad nos* qu'à travers l'expérience, qui nous garantit du même coup la possibilité logique et la vérité objective de l'essence définie. Et ne sont-ce point, chez Aristote, l'ἀφαίρεσις et l'ἐπαγωγή qui fournissent les définitions essentielles dont s'étoffent les majeures du syllogisme scientifique, le syllogisme *faciens scire* des Scolastiques, celui qui donne l'ἐπιστημή ? On peut contester, si l'on veut, la valeur ontologique de l'abstraction et de l'induction, mais on ne peut, vraiment, accuser le réalisme modéré antique et médiéval d'une erreur formelle de logique.

— Les pp. 164 et suiv., où l'auteur prétend montrer, dans « la preuve thomiste de l'existence de Dieu par l'*abaléité* (contingence métaphysique) des créatures », le même « paralogisme ontologique » que dans l'argument fameux de S. Anselme. « Ces deux saints Docteurs, nous dit-on, commettent l'un et l'autre le paralogisme ontologique : S. Thomas, en transformant la distinction logique de l'essence et de l'existence chez la créature en une distinction ontologique ; Saint Anselme, en transformant l'identité conceptuelle de l'essence et de l'existence en Dieu en une identité ontologique » (p. 167). L'objection, intéressante en soi, repose sur une conception très insuffisante du réalisme thomiste. M. R. emprunte une partie de ses remarques critiques à Suarez : pour le dire en passant, la philosophie du *Doctor eximius* ne peut être considérée comme une élaboration interne, plus ou moins fidèle, du thomisme : les principes directeurs les plus décisifs de la métaphysique suarézienne sont, au contraire, fort éloignés de ceux qui inspiraient S. Thomas.

— Les paragraphes intitulés : « Les formes substantielles d'Aristote » (p. 317), « Critique du réalisme aristotélicien » (p. 322), « Les conditions de possibilité de la science : les invariants fonctionnels » (p. 325), où certaines objections, touchant la réalité et l'immutabilité des espèces naturelles, atteignent peut-être des parties caduques de la Physique ancienne, mais, entouscas, ne rencontrent aucun principe proprement métaphysique. Non moins qu'aux jours antiques, il reste vrai que le « mouvant » comme tel, l'instabilité essentielle du devenir, nous est « inintelligible », c'est-à-dire ne se laisse pas emprisonner dans nos définitions : le flux du devenir concret transparait-il donc, en nos formules scientifiques les plus modernes, autrement que par sa loi interne, par sa forme régulière, par la stabilité même que présente son instabilité ? Alors, pourquoi chercher querelle à Aristote sur le principe méthodologique de sa Philosophie naturelle ? Qu'on se contente d'en bousculer des applications simplistes ou surannées. Et comment peut-on sérieusement opposer à l'aristotélisme, qui professait la transmutation substantielle et admettait la génération équivoque, le fait de la variabilité des espèces chimiques et organiques ? Même l'évolutionnisme intégral des « corps naturels » se concilierait aisément avec les principes fondamentaux du réalisme péripatéticien et thomiste. — Nous n'en finirions pas de poursuivre cette énumération de passages qui nous paraissent, soit au point de vue de l'exégèse, soit au point de vue de la critique dialectique, appeler de fortes réserves. Pour faire court, nous n'en signalerons plus que deux ou trois, assez importants :

— Les pages intitulées : « L'origine psychologique et les difficultés du principe de l'éminence de la cause » (pp. 348 et suiv.) : quelques précisions

sur la vraie notion thomiste de la causalité et de la finalité suffiraient pour neutraliser les objections de l'auteur.

— Le chap. XIV en entier (« Le réalisme aristotélicien », ses « difficultés intrinsèques », ses « conséquences » inacceptables, son « origine psychologique »), chapitre, en somme, assez faible, car la critique y repose principalement sur une insuffisante pénétration de la doctrine critiquée. En particulier, le § V : « Critique des conséquences du réalisme aristotélicien », est peu digne du talent de M. R., tant son exégèse même y semble obscurcie par le nominalisme étroit qu'il professe : c'est à se demander s'il comprend le sens qu'attachent les Scolastiques aux expressions « attributs essentiels », « notes individuantes », « principe d'individuation ». Ce chapitre révèle en outre — on pouvait déjà le soupçonner précédemment — que les connaissances historiques de M. R. sur le moyen âge, si étendues soient-elles, ne pénètrent pas néanmoins, en profondeur, jusqu'au lien organique et aux oppositions radicales des divers groupes scolastiques.

— Enfin, le chap. XV : « Les antinomies dialectiques du réalisme ontologique » tombe persévéramment à faux en ce qui concerne l'aristotélisme thomiste.

IV. *Une esquisse de la philosophie personnelle de l'auteur : un Nominalisme empiriste.*

Le chap. XV, que nous venons de parcourir, propose, comme unique solution des antinomies (partiellement inexistantes, selon nous) du « rationalisme », « le retour au monde de l'expérience pure » (p. 405). « L'existence d'invariants fonctionnels et statiques dans le flux des phénomènes sensibles ; la possibilité d'étudier ceux-ci quantitativement, grâce à l'objectivité des sensations de forme géométrique et à cette circonstance qu'à toute variation qualitative est lié un changement quantitatif concomitant, sauvegardent la possibilité de la science et permettent de s'affranchir, par un retour au monde de l'expérience pure, des antinomies dialectiques nées de l'interprétation réaliste de la transcription conceptuelle des choses » (p. 409). Cet empirisme-là, nous le connaissions de longue date. M. R. tente d'en relever la fortune en la réédifiant, cette fois, sur l'effondrement dialectique de tous les réalismes métempiriques. Il ouvre ainsi la joute contre la grande majorité des professionnels du raisonnement : entreprise téméraire, dans laquelle (selon nous, et malgré ses péans plus ou moins modestes) il succombe — honorablement d'ailleurs et non sans avoir porté quelques rudes coups à des formes du rationalisme étroites ou excessives. Il succombe pour avoir insuffisamment reconnu la position d'une partie de ses adversaires : nous entendons surtout d'Aristote, des Thomistes et de Kant lui-même, qui aurait peut-être à se plaindre de l'exégèse cavalière qu'on lui inflige.

Avant de quitter le terrain, relisons le cartel du champion empiriste : «... Aristote, saint Thomas d'Aquin, Descartes, Leibniz, Kant, Hegel ont accumulé les contradictions. Révéler les points faibles de leurs doctrines, plutôt que d'en masquer les défauts à l'aide d'une artificieuse exposition, voilà la tâche probe de l'historien qui fait son métier de critique » (p. 198). Croirait-on que ce jugement à la Caton vise indirectement (*Ibid.*, note) M. Emile Boutroux, dont la critique affinée et sûre, bienveillante parce que très expérimentée, répugne à dénoncer précipitamment des contradictions voyantes ou de « colossales bévues » (p. 206) chez les maîtres de la pensée philosophique ?

En tous cas, pour ce qui concerne Aristote et S. Thomas d'Aquin, il conviendrait, à notre humble avis, avant de leur imputer les « contradictions » qu'aperçoit chez eux M. R., d'envisager une autre hypothèse, pour le moins aussi plausible : c'est que M. R. lui-même n'ait pas su découvrir sur quelle clef doit se jouer la partition de l'aristotélisme thomiste pour que les prétendues dissonances s'y fondent en une large harmonie. M. R. évite obstinément le seul point de vue d'où le réalisme péripatéticien se comprenne et se justifie : point de vue qui n'est, ni celui du pur donné empirique ; ni celui de la pure analyse formelle, simple norme logique ; ni celui de l'intuition ontologique, à nous inaccessible ; mais celui de la nécessité transcendantale impliquée dans l'objet primaire de notre pensée, l'objet d'expérience, pris intégralement, avec l'*a priori* et l'*a posteriori* qu'il comporte, avec ses conditions absolues de possibilité non moins qu'avec sa matière contingente. Ce point de vue, Kant avait commencé de le retrouver, à mi-chemin entre l'empirisme phénoméniste de Hume et le rationalisme ontologiste de Wolff ; mais il n'en soupçonna point toute l'ampleur. Aristote et S. Thomas, jadis, s'y placèrent d'instinct, le repérèrent assez complètement, en tirèrent mainte conséquence, le défendirent sommairement contre le relativisme intégral, mais négligèrent de le désigner d'un nom qui répondît par avance à nos préoccupations critiques. Cet oubli fâcheux — que n'ont pas encore réparé les Scolastiques modernes — nous explique l'erreur de perspective commise par M. R. malgré ses laborieuses battues dans les philosophies anciennes.

J. Maréchal, S. J.

XXV

Cours de Philosophie suivi de l'Histoire de la Philosophie, par le P. Ch. Lahr, S. J., à l'usage des candidats au baccalauréat ès lettres. 23e édition. Deux volumes de 754 et 748 pages. — I. *Psychologie, Logique.* — II. *Morale, Métaphysique, Histoire de la Philosophie.* — Paris, Beauchesne, 1920.

L'utilité de ce cours de philosophie dépasse notablement la catégorie de lecteurs à laquelle le destina primitivement son auteur. En poursuivant une fin modeste et toute pratique : aider des jeunes gens à subir avec succès l'épreuve conduisant au baccalauréat ès lettres, le P. Lahr a été amené à composer une œuvre remarquable à la fois par l'étendue des connaissances philosophiques qu'elle suppose et par l'ordre et la clarté parfaits qui partout accompagnent l'exposé doctrinal. Ces qualités expliquent le succès durable et mérité de l'ouvrage et lui ont permis de se passer de toute réclame. En moins de dix-huit ans (1901-1918) vingt éditions, dont quelques-unes entièrement refondues, se succédèrent, sous les yeux mêmes de l'auteur ; la 23e, — posthume hélas ! — paraît aujourd'hui. Nous la devons aux bons soins du R. P. Picard, S. J., qui dans un avertissement très bref nous communique que l'ouvrage « continuera à être mis au courant des exigences de l'enseignement dans la forme même que le P. Lahr avait tenu à lui conserver ». C'est là une bonne nouvelle. Le rôle d'exécuteur testamentaire, si simplement accepté par le R. P. Picard, est le plus bel éloge de sa charité fraternelle. Peut-être plus d'un amour-propre d'auteur eût-il éprouvé des répugnances devant ce rôle modeste de « continuator ». De ce rôle, du reste, le R. P. Picard s'est acquitté à merveille. C'est bien le P. Lahr qu'il nous rend avec toutes les qualités que nous cherchions et trouvions en lui : distribution logique des matières, clarté française traditionnelle, effort consciencieux pour comprendre l'adversaire et je ne sais quel art de répandre de l'agrément sur les chapitres les plus rebutants de la science.

Faire d'un traité de philosophie un livre de lecture agréable et captivant qui ne cesse pas pour autant d'être solide et sérieux peut passer à bon droit pour un tour de force. Aucun de ceux qui ont pratiqué quelque peu le manuel du P. Lahr ne contestera que son beau talent ne l'ait accompli avec aisance. La

science française, s'alliant au bon goût, se garde de devenir pédantesque ou indigeste. Les sots en prennent prétexte pour l'accuser d'être superficielle.

Passons outre à leur avis. Aux hommes du monde : avocats, médecins, ingénieurs, à tous ceux que leur spécialité absorbe et tient à l'écart des discussions philosophiques proprement dites, je conseille vivement la lecture de l'ouvrage du P. Lahr ; elle leur fera le plus grand bien. Ils y trouveront des aperçus clairs et substantiels sur les philosophies du jour, telles que le Bergsonisme, la philosophie sociologique de Durckheim en même temps que l'exposé précis des enseignements de la « philosophia perennis » sur l'âme et ses facultés, sur le monde et sur Dieu.

En réalité, les 1500 pages de ces deux imposants volumes forment une bibliothèque philosophique complète que l'on consultera toujours avec profit et qui, par la sûreté et la précision des renseignements fournis, dispensera fréquemment de la lecture des originaux, souvent inaccessibles du reste. Le jour où le P. Lahr se décida à ne pas s'enchaîner aux programmes officiels, tel un mitrailleur à sa pièce, il fut heureusement inspiré. Son manuel supplée aux réticences et aux omissions volontaires de ces progammes et éclaire « les conclusions les plus certaines de la philosophie moderne en les rattachant toujours à cette grande tradition de philosophie chrétienne dont Saint Thomas est le chef incontesté ».

Le public continuera à accueillir avec faveur le « Cours de philosophie » du P. Lahr, pour la raison toute philosophique que les mêmes causes auront les mêmes effets. Le zèle et l'activité du R. P. Picard nous donnent du reste l'assurance que ce manuel, pour lequel maîtres et élèves éprouvèrent de tout temps une égale sympathie, ne tombera point dans un injuste oubli. L'œuvre à laquelle son auteur consacra une vie entière est en bonnes mains ; je suis sûr qu'elles la sauront faire vivre et prospérer.

F. X. Jansen, S. J.

XXVI

Essai de Philosophie générale élémentaire, par Henri Guillou. Un vol. de 192 pages. — Paris, Alcan, 1921.

Donner aux problèmes les plus fondamentaux comme aux plus épineux une solution hâtive, insuffisamment approfondie, telle est la manière de M. Henri Guillou. Un exemple le montrera.

Qu'est-ce que l'homme ? Ce n'est plus un animal raisonnable ; il ne se différencie des êtres inférieurs que par une faculté d'observation qui lui permit, dès la préhistoire, d'entretenir et bientôt d'allumer le feu dont il appréciait les bienfaits ; de cette prérogative est sortie mécaniquement la civilisation tout entière. Or, cette supériorité de nature trouve sa cause adéquate en une hypertrophie cérébrale : l'homme n'est qu'un hypercéphale.

Et voilà prétendument rejetée, d'un trait de plume, l'intelligence immatérielle. A creuser un peu, l'auteur eût vite remarqué que cette faculté raisonneuse qui, jouissant d'un bien-être, en recherche la source et s'efforce aussitôt de se l'approprier, ne peut être qu'une intelligence.

Plus loin, M. Guillou revient sur ce sujet et c'est pour formuler une objection que je ne voudrais pas proposer en critère de sa profondeur d'esprit. « Puisque l'âme, dit-il, serait forcément quelque chose, on ne peut raisonnablement lui supposer l'immortalité alors qu'il en serait créé une nouvelle chaque fois qu'un être humain prend naissance. Songe-t-on à la quantité innombrable de ces âmes qui apparaîtraient à chaque instant dans tout l'univers ! La notion de l'infini s'y oppose à elle seule absolument. Où résideraient ces âmes ?... Est-ce que toute l'histoire de l'humanité ne s'accomplit pas dans une pellicule sphérique de quelques kilomètres d'épaisseur ?... »

Bien des pages de ce livre réservent de semblables surprises. Il ne faut pas s'en étonner. M. Guillou lui-même nous y avait aimablement préparés en terminant sa préface par un aveu qui, en exergue à une synthèse philosophique, est pour le moins inattendu : « Je sais combien une étude de ce genre est périlleuse et combien on doit craindre tout écart d'imagination : aussi je m'en excuse par avance en réclamant le bénéfice de la maxime latine : *Errare humanum est.* »

Opportune précaution ! Le vieux proverbe latin compte une illustration de plus.

R. Lange.

XXVII

Religione e Scienza, par Fr. Agostino Gemelli, O. F. M. — Un vol. de xii-346 pp. — Milano, Società editrice « Vita e pensiero ».

Excellent petit volume : le deuxième de la collection des *Saggi apologetici* qui nous avait déjà donné *Religione e vita* de F. Olgiati. Le P. Gemelli s'est spécialisé dans les sciences natu-

relles, et plus particulièrement dans la psychologie expérimentale. Il s'appelle lui-même un médecin (p. 177), mais ses préoccupations ont toujours débordé le cadre de ses études particulières et il a fait des excursions, souvent heureuses, dans les domaines avoisinants.

Après avoir traité en général des conflits possibles entre le savant qui conclut trop tôt et le croyant, qui dogmatise trop vite, le P. Gemelli discute quelques points, qui doivent servir d'exemples à sa thèse générale.

Il y a d'abord l'histoire des fameux « chevaux pensants » de Krall. On se souvient de ce riche bijoutier d'Elberfeld, qui avait acheté le *Kluger Hans* berlinois et qui exhibait aux yeux d'un public ahuri des chevaux mathématiciens, capables non seulement d'additionner et de soustraire, mais encore d'extraire des racines carrées. Krall n'a jamais permis au P. Gemelli d'assister à ces séances. Il s'entendait à trier les spectateurs. Mais avec Pfungst notre auteur conclut de tous les procès-verbaux publiés que les signes inconscients des questionneurs suffisent à expliquer les réponses des animaux, préalablement dressés.

Après avoir parlé des expériences de Carrel sur la transplantation des tissus organiques, l'auteur expose l'état actuel du spiritisme. Le P. Gemelli critique la théorie du Dr Lapponi et de beaucoup d'autres, qui attribuent en bloc les phénomènes spirites à la fraude ou au démon ; et il note très justement que, ces phénomènes prenant de plus en plus l'allure « régulière », l'explication naturelle paraît en général mieux indiquée que le recours à l'intervention physique du diable.

Suivent deux chapitres intéressants, l'un sur la peste de Milan, (1576) que l'on accuse parfois S. Charles Borromée d'avoir répandue par l'usage des processions de pénitence ; l'autre sur la condamnation de Galilée. Le P. Gemelli croit qu'il est impossible de nier que la théorie du mouvement terrestre n'ait été condamnée comme hérétique par le Saint-Office et par l'Index. Aucune de ces congrégations pontificales n'a d'ailleurs le privilège de l'infaillibilité, et il n'y a qu'à regretter que les théologiens, qui les composaient alors, aient manqué de mesure et dépassé les limites de leur compétence.

Pierre Charles, S. J.

REVUE
DES RECUEILS PÉRIODIQUES

ETHNOGRAPHIE

Une faucille préhistorique. — Autrefois on étudiait l'ethnographie au moyen de ce que l'on a appelé parfois la paléontologie linguistique : l'on se basait sur l'analyse des idiomes pour attribuer ou dénier à tel peuple, tel caractère ou telle coutume. N'allait-on pas jusqu'à affirmer qu'un peuple ne s'était pas livré à la culture des champs, parce que sa langue ne contenait pas de mots pour désigner les outils agricoles ? A présent, les découvertes d'objets ont prouvé que dès les temps néolithiques la plupart des peuples cultivaient la terre et élevaient des animaux domestiques.

On s'intéresse beaucoup actuellement aux faucilles préhistoriques qui servaient à couper les épis des céréales et l'herbe pour la nourriture du bétail. M. Déchelette a constaté (1) que les faucilles en bronze étaient particulièrement abondantes chez les tribus ligures, habitant la rive gauche du Rhône et le Nord-Ouest de l'Italie, et dans les palafittes de la Suisse et du Nord de l'Italie, que les Ligures paraissent avoir occupées. Nous-mêmes avons découvert une petite faucille en bronze dans la station palustre de Deuterghem. Ce n'est qu'à présent que nous avons pu l'identifier et constater sa ressemblance avec une faucille en bronze du plus ancien modèle, découverte dans une tourbière, située sur la rive droite du Limmat, à Wipkingen dans le canton de Zurich (2).

(1) J. Déchelette, *Manuel d'Archéol.* Tome II. Prem. Partie. *Age du Bronze.* Paris, 1910 ; p. 266.

(2) F. Keller, *Die Funde im Latten bei Zürich.* Dans Mitteilungen der Antiq. Gesellsch. im Zurich Pfahlbauten. Achter Bericht. B. XX, Abt. 1, p. 14. Zürich 1879. Planche III, n° 16.

Vers la fin des temps néolithiques, pendant l'âge du cuivre et au commencement de l'âge du bronze, on se servait de faucilles en bois, dont la lame était garnie d'une rangée de silex sertis dans une rainure avec un mastic. C'est avec le plus vif intérêt que nous avons lu un article que M. A. Vayson (1) a consacré à une faucille préhistorique recueillie par lui pendant la guerre à Solferino tandis que son régiment y était au repos. On connaît l'importante station palafittique de Peschiera, datant du plein âge du bronze. Elle est située à l'endroit où le Mincio sort du lac de Garde. Entre les collines qui s'élèvent au sud du lac, il y avait, après le dernier glaciaire, de nombreux petits lacs ; ils sont transformés actuellement en tourbières et ces tourbières renferment des vestiges de stations palafittiques un peu plus anciennes que celles de Peschiera. Il y a quelques années on a exhumé dans la tourbière de *Barche di Solferino* un précieux spécimen de faucille en bois, datant des commencements des âges du métal. M. Vayson a pu sauver de l'oubli ce bel instrument, le reconstituer, car, sauf l'extrémité du manche, toutes les pièces étaient conservées, en donner une description exacte et en relever toute l'importance scientifique. Le lecteur pourra juger par lui-même de la manière dont cette faucille a été remise en état. Nous citons : « L'objet a été taillé dans une pièce de bois noueuse, choisie de sorte que les fibres soient dans le sens de la longueur aussi bien pour le manche que pour la lame... Une face du corps est à peu près plane, l'autre assez bombée et le manche s'amorçait avec une certaine inclinaison par rapport au plan moyen de la lame, comme dans une faux.

Les silex entièrement retouchés ou presque, témoignent d'un travail précis et intelligemment raisonné ; chacun est taillé pour la place qu'il doit occuper et ajusté à ses voisins ; pour cela ses petits côtés bien rectilignes ont été façonnés en biseaux que recouvrent les biseaux semblables des pièces voisines. Ce travail d'ajustage à lui seul permet de retrouver avec une faible ambiguïté la position des silex les uns par rapport aux autres ; on constate alors que la suite de leurs tranchants forme une courbe parfaitement continue et à variation de courbure graduelle qui a été soigneusement étudiée... L'ensemble de la lame de silex ne dépassait hors du bois que d'une largeur allant de 0 à 12 millimètres. Les pièces étaient serties dans un mastic

(1) André Vayson, *Faucille préhistorique de Solferino*. Dans L'ANTHROPOLOGIE, t. XXIX (1918-1919), p. 393, avec quatre belles planches.

brun, terreux qui devait être composé de terre fine et d'une résine plus ou moins cuite, avec addition d'un corps gras pour éviter la fragilité (mastic type). Il faut remarquer la minceur des parois de bois de la rainure (2 à 4 millimètres avant la dessiccation), effilées pour éviter un ressaut au point d'insertion des silex » (1). Dans la lame, on retrouvait encore les empreintes du silex dans le mastic.

M. Vayson s'est occupé, dans la seconde partie de son remarquable travail, de l'étude des faucilles en bois, munies de silex et des faucilles en silex taillées d'une seule pièce, qui ont précédé l'emploi des faucilles en bronze. Au musée préhistorique de Rome, il a pu étudier un outil identique à celui de Solferino, provenant de la station de la Polada : cette pièce a malheureusement perdu les silex dont la lame était garnie. Le même musée conserve trois fragments de la lame en bois d'une faucille brisée par la dessiccation ; dans l'un de ces fragments on a remis un silex après le séchage. On connaît les admirables recherches de M. Flinders Petrie en Egypte. Il a découvert à Kahun des faucilles en bois armées de silex. On en a trouvé aussi en Palestine et M. J. de Morgan signale leur abondance en Chaldée. En Angleterre, on a trouvé de grandes lames de silex courbes que l'on regarde comme des faucilles. Nulle part l'industrie du silex ne s'est développée comme dans les pays scandinaves ; nous avons pu admirer au musée de Copenhague les armes et les outils taillés avec une finesse surprenante pour reproduire les modèles en bronze usités dans d'autres régions. Rien d'étonnant que, dans ces pays, on ait aussi confectionné des outils en silex pour imiter les formes des faucilles en bronze. Mentionnons, pour compléter les renseignements fournis par M. Vayson, une faucille en silex représentée par M. Gross dans son ouvrage sur les Protohelvètes et provenant de la station lacustre de Latrigen, sur le lac de Bienne (2).

Tous les collectionneurs de silex feront bien d'examiner leurs collections ; elles contiennent peut-être des lames identiques à celles qui servaient de denture à la faucille de Solferino. M. Vayson énumère les régions dans lesquelles on a recueilli des lames appartenant à la denture des faucilles en bois et les différentes pièces serties soit à la pointe, soit au milieu, soit au talon de la lame en bois. Ces silex sont particulièrement nom-

(1) A. Vayson, *Op. laudat.*, p. 397.
(2) Pl. V, nº 24.

breux en Italie et en Espagne. A Acebuchal, dans la province de Séville, on a reconstitué un exemplaire analogue aux faucilles égyptiennes à l'aide des éléments en silex recueillis dans le voisinage, dans les fonds de cabanes de l'âge du cuivre. M. Vayson termine sa captivante étude par ces mots : « Il me tient à cœur comme un devoir de remercier à l'occasion de cette première petite publication le Maître auquel je dois tant, M. Termier, dont l'enseignement à l'École des Mines a exercé une influence décisive sur mon esprit, lorsqu'il a su nous montrer à la fois les détails de la constitution du globe, et la majesté et la poésie grandiose de ses traits. »

Silex d'Ipswich. — Les fossiles et les silex découverts à Piltdown et à Ipswich continuent à être l'objet d'un grand nombre de travaux scientifiques en Angleterre et sur le continent. Signalons un article richement illustré de M. J. Reid Moir (1), paru dans les annales de l'ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE du Royaume-Uni, sur une série de silex découverts à Ipswich (Suffolk).

Le gisement où ils ont été récoltés est un gravier mis à jour dans une carrière de la briqueterie A. Bolton et Cie, située près Henley Road à Ipswich. Il fait partie d'une superposition de sables et de graviers qui se trouvent sous le *Boulder-Clay* crayeux que M. de Lapparent (2) appelle le *Boulder-Clay* le plus récent. M. Reid Moir ignore si cette série de dépôts sous-jacents au *Boulder-Clay* est glaciaire ou interglaciaire ; si elle est glaciaire, elle appartiendrait au *Middle Glacial* ou glaciaire moyen ; mais M. de Lapparent considère ces graviers, auxquels appartient le gisement en question, comme interglaciaires.

Quelle est la nature des silex ramassés par M. Reid Moir dans le gravier d'Ipswich ?

Il les considère comme des marteaux *(hammerstones)*, des nucleus *(cores)*, des éclats retouchés *(flint flakes)*, des outils *(flint implements)* et des silex craquelés par l'action du feu *(calcined flints)*.

(1) J. Reid Moir, *On the occurrence of humanly fashioned Flints in the middle Glacial Gravel at Ipswich*, Suffolk (with Plates III and IV). Dans THE JOURNAL OF THE ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE OF GREAT BRITAIN AND IRELAND. Vol. XLIX, 1919, p. 74 et suiv.

(2) A. de Lapparent, *Traité de Géologie*. 5e édition. Paris, 1906. T. III, p. 1668.

Comment M. Reid Moir explique-t-il la présence des silex dans le gravier ?

Le terrain occupé par les hommes qui ont abandonné leurs outils a été creusé par l'action de l'eau et ce courant a formé un nouveau dépôt dans lequel les silex ont été enfouis.

Les éclats pourvus d'un tranchant et les éclats façonnés en outils paraissent faire partie de l'outillage accessoire de l'époque chelléenne.

A notre avis, il est très difficile de les caractériser comme chelléens ; quand la hache chelléenne typique en forme d'amande fait défaut, dans un gisement où sont mis à jour des silex accessoires, le niveau de ce gisement est insuffisamment déterminé et il est impossible d'établir d'après quelques vagues retouches le caractère de pareils éclats.

D'autre part, ces silex peuvent-ils être regardés comme des produits de l'industrie humaine ?

Les éolithes ont la vie dure et pour les présenter au public scientifique on les déguise, on leur attribue une origine chelléenne. Le milieu dans lequel ils se trouvaient primitivement a été bouleversé, cela expliquerait leur présence dans un gravier, mais non pas leur singulière abondance dans ce gravier. Ils y sont disséminés avec une régularité parfaite, mais déconcertante si on les envisage comme les productions du travail humain.

Nous y allons de franc jeu et nous disons : les fameuses trouvailles de M. Reid Moir sont des éolithes.

Ce qui nous le suggère, ce sont quelques paroles de M. Boule, un connaisseur :

« Certaines pièces des sables moyens, que j'ai pu voir chez M. Moir, sont des formes troublantes, il faut l'avouer, mais elles représentent une sélection à une très grande puissance... » (1)

Les mêmes arguments que M. Boule fait valoir contre une autre série de pseudo-instruments, les « *rostro-carinate* » de la base de Crag rouge, peuvent être invoqués contre les silex des graviers moyens surmontés par le *Boulder-clay* crayeux :

« Rien n'est plus facile que de faire, avec un amas de pierres quelconques, sur une plage, dans une ballastière, dans les allées d'un jardin où l'on a répandu des graviers, voire même sur un tas de cailloux cassés par un cantonnier, un choix d'échan-

(1) Marcellin Boule, *La Paléontologie humaine en Angleterre*. Dans L'ANTHROPOLOGIE, tome XXVI, 1915, p. 13. Nous n'avons pas encore eu l'occasion de signaler cet intéressant mémoire à nos lecteurs.

tillons reproduisant sensiblement les mêmes formes, pouvant être groupés suivant ces formes et qui, rangés ensuite sur une table ou dans un tiroir, produisent une impression d'ordre ou de répétition intentionnelle. Il faut voir, dans ce phénomène, la principale, la véritable cause du succès obtenu par les collectionneurs d'éolithes auprès des visiteurs dont les connaissances géologiques étaient rarement de nature à leur faire éviter cette sorte de piège ; même des archéologues préhistoriens expérimentés, comme il y en a beaucoup en France, et, qui se sont ressaisis depuis, s'étaient ainsi laissé entraîner, au début, à donner leur adhésion à une théorie appuyée uniquement sur des documents matériels de ce genre.

Étudiées dans leurs gisements, ces mêmes pierres parlent d'une façon toute différente. On reconnaît alors qu'il a fallu, pour obtenir des séries fallacieuses, se livrer à un travail formidable de sélection ; que les cailloux, prétendument taillés intentionnellement, loin de se présenter comme l'indice, au point où on les recueille, d'une station humaine, sur un ancien sol, sous un abri, etc. font partie d'une véritable formation géologique, de caractère ordinairement violent, au même titre que les millions d'autres éléments de cette formation ; que les échantillons, choisis avec une idée préconçue, ne diffèrent, par aucun caractère essentiel, de leurs innombrables voisins dans le gisement ; qu'il est facile de trouver toutes les transitions possibles entre les éléments tout à fait bruts, formant la masse du gravier, du conglomérat, de la brèche, suivant le cas, et ceux auxquels des traces de fracture et d'éclatement, un peu plus nombreuses ou un peu mieux groupées, ont valu l'honneur d'être discernés et emportés comme pièces démonstratives.

Tel est le fait général, capital, caractéristique de toutes les histoires d'éolithes de tous âges... » (1).

Peintures rupestres de l'Espagne. — Nous avons à signaler deux nouvelles découvertes de peintures rupestres faites par M. l'abbé Breuil, dans la Péninsule Ibérique.

La première série de roches peintes dont nous parlerons, se trouve dans la vallée de *Las Batuecas* (2).

(1) M. Boule, *Op. laudat.*, p. 17-18.

(2) H. Breuil, *Les peintures rupestres de la Péninsule Ibérique.* IX. *La vallée peinte des Batuecas.* Dans L'ANTHROPOLOGIE, t. XXIX, 1918-1919, p. 1 et suiv., avec deux planches et de nombreuses figures.

M. l'abbé Breuil a pris le train à Salamanque pour se rendre à Fuentes de San Esteban, sur la ligne qui mène à Ciudad-Rodrigo. La diligence le conduisit ensuite à Segueros, puis à La Alberca, bourgade située à 1068 m. d'altitude au pied des hauts sommets de la Pena de Francia (1723 m.). Il y fut retenu deux jours par le mauvais temps. De La Alberca, par des chemins presque impraticables, il descendit à la vallée de Las Batuecas, large de 2 kilomètres et longue de 10. Parmi les escarpements qui encaissent la vallée, s'élève un rocher formant un abri large d'une dizaine de mètres précédé d'une terrasse qui domine la gorge à pic et présente un accès latéral relativement facile.

C'est le rocher aux chèvres, le *Canchal de la Cabras Pintadas*, dont M. l'abbé Breuil a relevé et expliqué les peintures dans la série de ses remarquables études sur les peintures rupestres de la Péninsule Ibérique. L'activité de M. l'abbé Breuil ne connait point de bornes et sa science est à la hauteur de son zèle. Ce prêtre infatigable est devenu un des plus grands savants de notre temps. Ne reculant devant aucun effort, il parcourt les contrées les plus sauvages ; il gravit les versants les plus abrupts ; il monte les sentiers les plus escarpés ; il pénètre dans les couloirs les plus obscurs et les plus étroits des cavernes pour nous révéler les vestiges de l'art pariétal des ancêtres préhistoriques et les relever sur les parois des grottes et des rochers avec son admirable talent de dessinateur.

Les peintures rupestres de la vallée de Las Batuecas sont mentionnées par Lope de Vega dans sa pièce *Las Batuecas del Duque de Alba*. Plusieurs figures et deux belles planches insérées dans l'étude de M. Breuil nous permettent d'en prendre une connaissance exacte et d'en apprécier la portée scientifique. Nous y remarquons plusieurs dessins de bouquetins, deux de cerfs, deux de poissons et les schémas habituels figurant des hommes. M. Breuil a pu observer que ces figures rouges et blanches ont été dessinées et peintes en trois phases. Les représentations de bouquetins nous semblent d'une belle venue et, sans être aussi parfaites, présenter une grande affinité avec les fresques que nous ont laissées, dans les cavernes, les chasseurs paléolithiques. Sur la paroi peinte de *Las Batuecas* on voit aussi un grand nombre de points ronds ou allongés qui datent de la troisième phase. A leur aspect on croit se souvenir de les avoir déjà aperçus ailleurs, et M. l'abbé Breuil à diverses reprises a signalé leur ressemblance avec les célèbres galets coloriés du

Mas d'Azil. Cette opinion est partagée par M. l'abbé Obermaier qui a parfaitement élucidé cette similitude (1). Cette ressemblance permet de fixer l'âge des esquisses de la troisième phase de ce tableau rupestre : il faut les dater de la période azilienne marquant la fin de l'époque magdalénienne et des temps paléolithiques. M. l'abbé Breuil n'a pas découvert de vestiges néolithiques aux abords du rocher aux chèvres.

Nous passons maintenant à une seconde série de roches peintes : ce sont celles du village de Minateda (2), qui constituent une des manifestations les plus brillantes de l'art paléolithique.

Ce village est situé entre Hellin et Agrammon, dans les montagnes qui séparent le plateau de la Mancha de la plaine de Murcie et de Carthagène. On peut l'atteindre du plateau de la Mancha en se glissant entre les montagnes qui le bordent et en suivant le cours du *rio* de Tobarra, ou d'Alicante par Yecla.

Aux environs du village de Minateda il y a plusieurs abris peints ; le principal est celui du ravin ou *barranca* de *La Mortaja*. Cet abri a une longueur de 25 mètres. La zone peinte mesure 19 mètres de longueur et elle se trouve à deux mètres de haut : dans la moitié gauche elle est concave ; le côté droit est vertical.

M. l'abbé Breuil y a relevé treize couches de fresques superposées dans lesquelles toutes les techniques des autres abris peints se rencontrent : ce palimpseste pictographique, comme M. l'abbé Breuil l'appelle si ingénieusement, constitue un document hors pair pour étudier l'évolution de l'art pariétal, pendant l'âge du renne, pendant la période azilienne et durant les temps néolithiques.

Tout serait à citer, mais nous glanons les détails les plus intéressants : plusieurs figures schématiques d'archers dans la couche la plus ancienne ; un cervidé très artistique et deux rhinocéros dans la deuxième couche ; un cerf et un cheval, qui par sa lèvre inférieure proéminente ressemble à l'*Equus Przewalkii*, dans la quatrième couche, tracés en rouge et rappelant l'art animalier, jamais surpassé depuis, de la célèbre caverne d'Altamira ; les hommes paléolithiques du sixième groupe, qui

(1) Dr H. Obermaier, *El Hombre fosil*, Madrid 1916, cité par M. l'abbé Breuil.

(2) H. Breuil, *Les Peintures rupestres de la Péninsule Ibérique. Les Roches peintes de Minateda.* Dans L'Anthropologie, t. XXX, 1920, p. 1 et suiv., avec 4 planches et de nombreuses figures.

sont les mieux représentés de l'Est de l'Espagne ; l'élan d'Irlande du huitième groupe ; l'antilope Saïga du neuvième groupe ; une scène touchante des temps paléolithiques représente dans le dixième groupe une mère conduisant son enfant.

Dans le dixième groupe la décadence se trahit par de premiers signes; elle s'accentue dans les couches suivantes et la treizième semble ne plus appartenir aux temps paléolithiques.

La conclusion qui se dégage de ces intéressantes études a été soulignée d'une manière significative par l'Université de Cambridge, quand récemment elle a conféré le titre de docteur à M. l'abbé Breuil (1). Le diplôme honorifique conféré au nouveau docteur proclame que les productions artistiques de l'homme primitif sont l'œuvre de bien mieux qu'un monstre sauvage, d'un être beaucoup plus cultivé et plus civilisé que certains ne l'ont cru jusqu'ici.

J. Claerhout.

ENTOMOLOGIE

Le rôle de la Chara fœtida dans la vie des moustiques. — Les expériences menées avec beaucoup d'esprit de suite par le Dr Caballero à Barcelone ont abouti à démontrer que dans les aquariums ou dans les eaux dormantes où végète l'algue *Chara fœtida* A. Br. les larves des moustiques appartenant aux genres *Stegomyia, Culex* et *Anopheles* ne peuvent pas se développer et finissent par mourir avant d'arriver à leur transformation définitive pour la vie aérienne. Or, on sait que ces insectes sont un agent terrible pour la propagation des fièvres paludéennes ou la malaria. Une petite quantité de *Chara fœtida* suffit dans les eaux stagnantes pour retarder énormément l'évolution des larves. La culture de la *Chara fœtida* est très simple et très économique : c'est une algue cosmopolite et peu délicate.

Le Calosoma sycophanta (Col.) **aux États-Unis.** — L'utilité du coléoptère *Calosoma sycophanta* L. pour la destruction de plusieurs larves de papillons nuisibles à la végétation, était bien

(1) Cfr L'Anthropologie, t. XXX, 1920, p. 201.

connue en Europe. Les Américains ont songé à le transporter aux États-Unis, pour acclimater chez eux ce précieux auxiliaire. Ils y ont réussi ; mais le *Calosoma* a trouvé là-bas un ennemi funeste : la mouche *Embiomyia sycophantæ*, des Tachinaires, dépose volontiers ses œufs dans le nouvel hôte, dont se nourrissent les jeunes larves.

La Selysiothemis nigra Lind. (Odon.). — Voici une libellule dont l'histoire est des plus intéressantes et qui a intrigué beaucoup les odonatologistes d'Europe.

Elle a été décrite en 1825 par le Belge Van der Linden sous le nom de *Libellula nigra* à la vue d'un échantillon mâle pris en Italie près de Terracine. Malgré les efforts de plusieurs entomologistes, elle n'a plus été retrouvée en Italie. Vers 1870, M. Cuní en a découvert en Catalogne un autre échantillon, qui a été étudié par le grand odonatologiste belge Baron de Selys Longchamps et décrit une seconde fois comme espèce nouvelle sous le nom d'*Urothemis advena*. Aucun autre échantillon n'a été observé en Europe pendant près de cinquante ans. Mais à la suite de chasses faites en Asie, qui les firent trouver en nombre dans la région de Kashgar, on a créé pour elle le genre *Selysiothemis* Ris et on l'appela par conséquent *Selysiothemis nigra* Lind. Alors on se demanda si les captures sporadiques de Terracine et de Catalogne montraient qu'il s'agissait d'une espèce purement asiatique ; les échantillons n'étaient-ils pas des individus amenés par hasard sur des navires venus d'Orient ? Ce soupçon s'affermissait par l'inutilité des observations soigneuses et persévérantes en Europe pour y retrouver l'espèce.

Moi-même je fus vivement sollicité à cette recherche par le Baron Edmond de Selys Longchamps. « Peut-être sera-t-il possible, m'écrivait-il le 20 janvier 1898, grâce à vos recherches, de pouvoir élucider une question très curieuse. Il s'agit d'une petite Libelluline que m'a envoyée, il y a une vingtaine d'années, un de mes honorables collègues Don M. Cuní y Martorell de Barcelone. *Un seul* spécimen jeune dans une boîte d'Odonates de Catalogne... Il s'agit de vérifier si ce spécimen (*advena* Selys) que nous croyons maintenant être le jeune âge de la *nigra* Van der Linden, habite réellement en Espagne, ou bien s'il y est arrivé accidentellement. C'est d'autant plus intéressant à vérifier que la *nigra* Van der Linden qui en est l'adulte, n'a été prise qu'une seule fois en Europe (à Terracine, Italie) et que nouvellement l'espèce (♂ ♀ et ♂ jeune) a été prise officiellement

à Kashgar en Asie centrale. » Et peu après, afin de faciliter mes investigations, il m'envoyait des dessins coloriés faits de sa main tremblante. Depuis lors, dans mes nombreuses excursions, surtout en Catalogne, je me suis acharné à la découverte de l'espèce litigieuse ; souvent j'ai soupçonné d'abord avoir réussi la capture, mais l'étude des échantillons pris dissipait soudain toutes mes joies.

Plus tard, on trouvait la libellule en Asie, au Turkestan, en Perse, en Afghanistan. Le 16 mai 1912, le Dr Hartert la prenait à El Goléa, en Algérie. « Cette très intéressante place, écrit le Dr Ris, dans le Sahara algérien, nous donne l'extrême jalon dans le cercle de la distribution géographique de cette espèce. »

D'autres jalons manquaient encore. Pendant la guerre, deux capitaines anglais, MM. Waterion et Waterson, l'ont trouvée abondamment en Macédoine.

Finalement le 17 août de cette année, j'ai eu le bonheur, après 22 ans, d'en prendre deux échantillons en Espagne, aux bords de l'étang d'Alcañiz (Aragon). Le cercle de la distribution géographique de cette espèce est donc fermé et résolu le problème que proposait le Dr Ris dans ses Libellulinen (*Collections Zoologiques de Selys Longchamps*, 1911, p. 631). L'espèce *Selysiothemis nigra* Lind. est acquise définitivement pour la faune d'Europe et en particulier pour celle d'Espagne.

Les Chironomides (Dipt.) **du Musée de Buda-Pest.** — L'étude de ces petits diptères a occupé longtemps notre savant collègue M. l'abbé Kieffer. Depuis 1916, quatre considérables articles sur ce sujet ont paru dans les Annales Musei Nationalis Hungarici. Le dernier, sur les Chironomides d'Europe, comptant 160 pages et 60 figures, décrit plusieurs espèces nouvelles et donne des clés dichotomiques très complètes.

Les Névroptères de Pologne. — Le Dr A. Pongrâz, utilisant ses propres recherches et celles d'autres entomologistes, présente une liste des insectes connus de la Pologne russe, qui appartiennent à l'ancien ordre des Névroptères. L'ensemble forme 280 espèces, dont 46 sont citées pour la première fois en Pologne. D'après la nomenclature la plus récente, ils doivent être distribués dans les ordres suivants : Psocoptera, Plecoptera, Ephemeroptera, Paranevroptera ou Odonata, Megaloptera, Rhaphidioptera, Mecoptera et Tichoptera.

Les Chrysopides (Neur.) **du Japon.** — Dans une belle monographie, l'entomologiste Okamoto a étudié ces jolis névroptères, et ajouté de minutieuses investigations anatomiques à celles de ses devanciers. D'après lui on connaît jusqu'à présent au Japon 35 espèces de Chrysopides. Il les distribue en sept genres : *Ancytopteryx* Brau., *Nacaura* Nav., *Nothochrysa* Mac Lachl., *Chrysocerca* Weele, *Nineta* Nav.. *Chrysotropia* Nav. et *Chrysopa* Leach. La faune entomologique de ce pays étant très riche et très variée, on peut supposer que l'énumération est loin de correspondre à la totalité des espèces et même des genres.

Les Névroptères du Congo belge. — A l'occasion d'une étude de M. Nathan Banks sur une petite collection de Névroptères recueillie au Congo par l'Expédition de l' « American Museum » de New York, l'entomologiste belge, Dr Bequaert, a pu dresser une liste des Névroptères du Congo belge dont il avait connaissance par les publications antérieures ; ce sont en tout 94 espèces. Si on ajoute quelques autres espèces découvertes plus récemment, on arrive à la centaine. Ce nombre est sans doute inférieur de moitié à celui des espèces existant réellement, étant donnés la richesse entomologique de la contrée et le petit nombre de représentants cités pour les familles très nombreuses, telles que les Chrysopides et les Hémérobides, dont les échantillons, en raison de leur petitesse, ont souvent échappé aux collectionneurs. On peut toutefois espérer que les nombres augmenteront bientôt considérablement. Le Dr Schouteden est chargé de créer là-bas une Station entomologique ; il ne manquera pas d'exciter l'ardeur des entomologistes ; cela fera avancer évidemment nos connaissances sur tous les ordres d'insectes d'une région si vaste et si exubérante.

Les Cigales (Hemipt. Homopt.) **de la République Argentine.** — Les espèces des Cicadides de la République Argentine ont été soigneusement revues par M. Louis F. Delétang, qui prépare une monographie de ces intéressants insectes. D'après un mémoire préliminaire, le nombre des Cicadides de la République Argentine connus jusqu'à ce jour est de 37 espèces, distribuées en de nombreux genres. Quelques espèces nouvelles et des genres aussi nouveaux ont été introduits par M. Delétang.

Les Termites (Isoptera) **de la région néarctique.** — La science de ces insectes si intéressants au point de vue biologique

et économique à cause des dégâts énormes qu'ils produisent a fait un grand progrès par la publication d'un mémoire, le Bulletin 108 de la « Smithsonian Institution », contenant une révision des Termites néarctiques. La partie systématique a été élaborée par M. Nathan-Banks et les notes relatives à la biologie et à la distribution géographique par M. Thomas E. Snyder, du Bureau d'Entomologie de Washington.

On donne les caractères généraux des Termites (ordre Isoptera des Insectes), leur division en familles et sous-familles, la clé dichotomique des espèces, la description plus ou moins complète de celles-ci ; le tout est illustré par une profusion de figures et de planches d'une perfection et d'une exactitude irréprochables.

En 1907, on connaissait 12 espèces de Termites des États-Unis. Depuis lors, M. Banks a décrit quelques espèces nouvelles et établi que certaines variétés constituaient réellement des espèces. Dans ce mémoire, le nombre d'espèces a été élevé à 36, plus une variété ; ainsi 19 espèces et une variété sont décrites pour la première fois. Il faut remarquer le *Reticulitermes lucifugus* Rossi, si fréquent en Europe et transporté sans doute aux Etats-Unis par les navires, de la même façon que le *R. flavipes* Kollar a été importé de l'Amérique en Europe.

La division en familles et sous-familles est faite d'après un cadre tout particulier de Banks. Il divise tous les Termites en deux familles : *Calotermitidæ* et *Termitidæ*. Nous croyons plus correct d'écrire Calotermitidæ au lieu de Kalotermitidæ comme fait Banks, la nomenclature étant latine et le κ grec traduit constamment par c en latin et dans un grand nombre de mots acceptés communément, par exemple cinématique (de κίνημα), cinématographe, etc. On écrira donc mieux, comme jusqu'ici, *Calotermes, Calotermitini, Calotermitina, Calotermitidæ*.

Quant aux noms d'auteurs attribués aux divisions systématiques, il y a sans doute plusieurs changements à faire. Ainsi, par exemple, à la p. 145, nous lisons : *Termitidæ* Banks. Nous dirons : Termitidæ Latreille, cet auteur ayant inventé ce nom. Si l'on objecte que cette famille a été restreinte par Banks à la forme actuelle, la même raison vaudrait pour un changement quelconque et les noms des auteurs qui ont créé quelques groupes taxonomiques tomberaient continuellement dans l'oubli ; ce serait introduire l'injustice et le chaos dans la nomenclature. On pourrait dire la même chose de la désignation : *Termitinæ*

Banks (p. 178). C'est Termitinæ Froggat 1896, ou tout au plus Termitinæ Desneux 1904, qu'il faut dire, etc.

La partie biologique et géographique est la plus étendue (pp. 87-193), riche en observations de Snyder et des autres auteurs ; non moins ample est la bibliographie.

Nécrologie. — Parmi les divers entomologistes décédés récemment, il nous suffira d'en citer trois, dont les mérites sont bien connus du monde scientifique.

Le 3 décembre 1919 mourut lord Walsingham, âgé de 77 ans. Dès les commencements de sa vie scientifique il montra sa prédilection pour les microlépidoptères, et il poursuivit leur étude jusqu'à ses derniers jours. Un mois avant sa mort il travaillait encore au British Museum, où étaient transportées depuis 1910 sa riche collection et sa bibliothèque. Il a entrepris des voyages scientifiques en diverses régions et participé à plusieurs congrès dans lesquels on entendit souvent sa parole animée. Il fut le collaborateur de plusieurs revues scientifiques, en particulier de la Biologia centrali Americana. Depuis 1876 il était membre du British Museum, depuis 1887 il appartenait à la Société Royale de Londres, et en 1889-90 il fut Président de la Société Entomologique de Londres.

Le R. P. Joseph Pantel, S. J., s'était fait un nom illustre par ses études de systématique et de biologie et anatomie des insectes. En 1898 il fut lauréat de l'Académie des Sciences de Paris pour sa monographie sur « Le Thrixion halidayanum » et en 1906 il le fut de nouveau en collaboration du P. Robert de Sinéty pour son mémoire « Les cellules de la lignée mâle de la Notonecta glauca ». On lui a dédié plusieurs espèces et genres d'insectes Il publia ses travaux de préférence dans les revues de Louvain La Cellule et La Névraxe, ainsi que dans les bulletins des Sociétés d'Histoire Naturelle d'Espagne, de France et de Hollande. Depuis 1911 il était membre correspondant de l'Académie des Sciences de Barcelone. La mort l'atteignit le 7 février 1920, à l'Institut Catholique de Toulouse, âgé de près de 67 ans.

Le 15 mars 1920 mourut à l'âge de 75 ans, dans sa demeure de Paskau, Edmond Reitter, entomologiste connu de tout le monde par ses nombreuses publications, surtout sur les coléoptères de la faune européenne. Lors des fêtes de son 70ème anniversaire, on a énuméré 949 travaux dus à sa plume publiés dans 18 revues de différentes nations ou bien isolément. A ce moment

il avait décrit 955 genres et sous-genres, 7296 espèces et 1005 variétés et observations. Son Catalogue des Coléoptères d'Europe et ses Tableaux dichotomiques pour la classification des familles de Coléoptères sont les instruments familiers des coléoptéristes. Membre honoraire de plusieurs Sociétés savantes, il avait reçu le même titre de la Société Entomologique d'Espagne récemment fondée.

LONGIN NAVAS, S. J.

VACCINOTHÉRAPIE

—

Un complot s'ourdit contre les bistouris et les cautères. Le domaine des infections chirurgicales — chasse jalousement gardée autrefois — est envahi par des thérapeutes d'un mode nouveau et dont les armes non sanglantes sont en train de supplanter les autres : la vaccinothérapie a reçu droit de cité en chirurgie.

Nous sommes loin des temps héroïques où les médecins chinois, bien des siècles avant Jenner, faisaient de la vaccination préventive en déposant une croûtelle de pus varioleux dans le nez des enfants pour les immuniser contre le fléau. L'ère pastorienne ouverte, la vaccination préventive s'est étendue, non seulement à la variole, mais à la fièvre typhoïde et au choléra, et c'est l'emploi de cette méthode qui a permis de tenir pendant cinq ans des millions d'hommes mobilisés dans la boue ; car dans les guerres précédentes, les épidémies tuaient plus que les balles et elles avaient mis fin à plus d'un siège. Cependant la vaccination préventive n'a pas trouvé d'applications pratiques en dehors de ces maladies.

L'emploi du vaccin ne s'est pas borné cependant à sa seule utilisation préventive. Il est devenu curatif. Pasteur, le premier, l'avait employé à ce titre pour la rage et ses successeurs n'ont pas eu à retoucher son procédé : les sujets suspects d'être en incubation de rage sont inoculés avec de la moelle de lapin desséchée, avec du « virus atténué ». Après lui, ce sont les dermatologistes, à la suite de Sabouraud, Noiré et Mauté, qui ont repris cette méthode et qui en ont généralisé l'emploi dans les infections cutanées à staphylocoques : on injecte au malade le

germe incriminé que l'on a isolé dans les produits pathologiques, que l'on a cultivé, puis tué ou atténué, et mis en proportion convenable dans un milieu approprié. C'est l'*auto-vaccin*. Pour agir plus vite, on s'est adressé à des vaccins tout faits où entrent un certain nombre de souches provenant de légions différentes mais de même type clinique : ce sont des *stock-vaccins*. Avec eux on gagne du temps et, s'ils échouent, on a eu le loisir de préparer un auto-vaccin qui aura plus de chances de réussir que le premier. Ces vaccinations au cours de la maladie ont ensuite été appliquées aux affections gonococciques et à la fièvre typhoïde, avec des succès variables.

La vaccinothérapie s'en tenait là quand Delbet, dans une communication à l'Académie de médecine de Paris le 8 août 1914, lut une note où il apportait le résultat de ses recherches dans cette voie, recherches entreprises depuis 1913. Les circonstances, l'énorme labeur des chirurgiens, les graves préoccupations que leur donnait l'étude des plaies de guerre, tout cela empêcha que cette communication eût l'écho qu'elle méritait et suscitât une plus large expérimentation. Peu à peu cependant les plus importantes questions posées par la guerre reçurent leur solution, perdant de ce fait un peu de leur droit de priorité impérieuse et angoissante, en même temps que les chercheurs étaient repris par leur pratique civile : la méthode de Delbet fut mise à l'essai.

Delbet fait un stock-vaccin polyvalent constitué par l'association de trois espèces microbiennes : le staphylocoque, le streptocoque et le bacille pyocyanique. Les deux premiers microbes sont les agents les plus fréquents des infections chirurgicales ; le troisième est l'agent d'une suppuration plus rare, de la suppuration bleue. Delbet ne l'ajoute pas d'ailleurs aux deux autres dans le but d'obtenir une vaccination pyocyanique, mais parce qu'il est d'observation ancienne que la présence de pyocyanique dans une plaie lui confère un caractère habituel de bénignité. Notons en passant qu'on a même pensé pendant la guerre à ensemencer systématiquement toutes les plaies infectées avec du b. pyocyanique. Delbet laisse vieillir ses cultures, les chauffe à 65° puis les mélange ; le vieillissement, en atténuant les microbes et leur virulence, va lui permettre d'injecter un beaucoup plus grand nombre de corps microbiens. Et de fait, il en donne en une fois 13 milliards à la première injection.

Dès 1920, des quantités d'observations publiées montrent à quels résultats on peut s'attendre de l'emploi de cette méthode :

furoncles, anthrax, phlegmons, adéno-phlegmons, érysipèles, ostéo-périostites dentaires, phlébites, pelvi-péritonites, septico-pyohémies, les infections les plus diverses par leur forme clinique sont améliorées et souvent guéries sans interventions complémentaires. Les bulletins de la Société de Chirurgie de l'année 1920 foisonnent de résultats, tous des plus encourageants ; ils sont trop nombreux pour les citer, mais nous retenons un nombre respectable de phlegmons, de lymphangites, d'anthrax, l'auto-observation du professeur Hartmann (adénite axillaire avec température et vomissements) et l'auto-observation d'Auvray (érysipèle grave).

En octobre 1919, Grégoire (de Paris) appliqua la vaccinothérapie aux ostéomyélites aiguës à staphylocoques. On connait cette affection qui frappe de préférence les adolescents, qui se localise le plus souvent aux cartilages fertiles des os longs et qui est grave non seulement au point de vue vital, mais aussi au point de vue fonctionnel, puisqu'elle occasionne des nécroses osseuses parfois étendues et qu'elle évolue vers une fistulisation interminable. La chirurgie n'avait autrefois de prise sur cette affection que par une intervention précoce consistant dans une trépanation de l'os et un large drainage de l'abcès de la moelle osseuse. Passé les premiers jours, la mort de l'os était irrémédiable, la fistule s'installait et l'intervention chirurgicale différée ne se faisait plus qu' « à froid » évidant les sequestres osseux et réparant par des plasties difficiles tous ces délabrements. Le 11 février 1920, Grégoire présentait à la Société de Chirurgie ses 17 premières observations de vaccinothérapie dans l'ostéomyélite. Il emploie un stock-vaccin différent de celui de Delbet, un vaccin polyvalent fait de staphylocoques de variétés et d'origines diverses, tués par l'éther. Sur 17 cas il avait obtenu 14 guérisons sans incisions ; dans un cas, une collection purulente avait nécessité quelques ponctions ; deux cas avaient évolué vers la formation de sequestres et un cas était trop récent pour qu'on pût se prononcer. Cette encourageante tentative ne pouvait manquer de susciter d'autres essais dont les résultats continuent d'affirmer l'excellence du procédé.

Depuis lors, la vaccinothérapie s'est adressée à d'autres affections : Le professeur Delvez (de Liége) guérit une pleurésie purulente totale méta-pneumonique chez un enfant de deux ans avec un éthéro-vaccin antistaphylococcique (*Soc. de Chir.*, 8 déc. 1920). En médecine, Lortat, Jacob et Grivot chez deux accouchées atteintes de méningite aiguë à staphylocoque d'ori-

gine otitique ont une guérison totale et une partielle (*Soc. Méd. Hop.*, 10 nov. 1920). Sergent, Pruvost et Bordet s'attaquant à une septicémie à méningocoque C par vaccinothérapie intraveineuse arrivent à une complète guérison (*Soc. Méd. Hop.*, 19 nov. 1920).

J. Danysz obtient des résultats intéressants dans le traitement des affections gastro-intestinales par l'auto-bactériothérapie provenant de la flore intestinale (1918). Maurice Cazin s'adresse aux métrites chroniques avec ou sans lésions annexielles et obtient, par la bactériothérapie faite avec la flore utérine, des succès inespérés (Paris, *Chirurgical*, janv.-fév. 1920).

Dufour et Debray guérissent une pleurésie cloisonnée à streptocoques en 5 injections de vaccin streptococcique pratiquées à 4 à 5 jours d'intervalle et représentant en tout 13 milliards de streptocoques tués par la chaleur (*Soc. Méd. Hop.*, 14 janv. 1921).

* * *

Cette question de la vaccinothérapie en soulève une autre. Les injections de corps microbiens tués ou atténués et de leurs exo- et endotoxines confèrent, par leur répétition convenablement espacée et graduée, une immunité qui met un certain nombre de jours à s'établir. Or, quand au cours de la maladie on se met à vacciner le sujet et qu'on emploie pour ce faire des quantités imposantes de corps microbiens, on constate en cas de succès une amélioration extrêmement rapide : parfois, dès le lendemain de la première injection, l'état général est meilleur et les symptômes locaux s'amendent (chute de la t°, diminution du gonflement, de la douleur, etc.). Il ne peut cependant être question d'une immunité qui s'établirait aussi rapidement.

Que se passe-t-il donc ?

Dès 1914, Delbet, dans sa note à l'Académie, signalant la rapidité des effets constatés, a soin de dire que ces effets ne peuvent être attribués à une vaccination véritable. « Ils nous paraissent dus, dit-il, à une perturbation orientée et favorable de l'état général, à une crise de ce que Widal appelle des clasies. Il est possible que par la répétition des injections on arrive à une vaccination polyvalente. » Dujarier dit : « c'est peut-être un de ces phénomènes particuliers que Nolf (de Liége) appelle l'effet de peptone. »

Qu'est-ce au juste que cette clasie et que cet effet de peptone ? En étudiant la façon dont réagit l'organisme en présence de certaines substances qui troublent momentanément son fonction-

nement régulier, on est arrivé à les classer en deux groupes. Il y a une première catégorie de poisons qui ont une action plus ou moins durable parce qu'ils altèrent plus ou moins profondément les molécules des protoplasmes cellulaires auxquelles ils se combinent ; ils ont une action spécifique variable selon chacun d'eux et due à la nature chimique du processus toxique. Le phosphore altère la cellule hépatique, l'atropine se fixe sur certains noyaux bulbaires, la toxine dysentérique s'attaque à l'intestin, etc. « Chacun de ces poisons, en raison de sa constitution chimique même, ne peut se combiner qu'avec tels ou tels des édifices moléculaires que représentent nos tissus différenciés » (Widal)

Un autre ordre de substances agissent tout autrement. Ces substances ont une action qui n'a rien de spécifique, leur effet est toujours le même et son caractère le plus remarquable est un bouleversement sanguin immédiat, une crise vasculo-sanguine qui se retrouve identique dans toutes les espèces animales et quelle que soit la substance injectée. Malgré leur intensité, ces troubles, lorsqu'ils ne sont pas mortels, se dissipent avec rapidité et ne laissent aucune trace matérielle de leur passage dans l'organisme. Lorsqu'elles agissent à dose élevée, ces substances produisent de la dyspnée, de l'hypotension artérielle, une éruption ortiée, du collapsus, des troubles gastro-intestinaux, des phénomènes convulsifs et la mort. En même temps, et même à faible dose, elles produisent une leucopénie marquée avec inversion de la formule leucocytaire, de la raréfaction des hématoblastes circulants, des troubles de la coagulabilité du sang. Ces substances qui peuvent être de la peptone, du blanc d'œuf, de la caséine, de l'albumine de sérum, des extraits de tissus ou des protéines microbiennes, ont toutes un caractère commun : c'est qu'elles constituent des antigènes et les phénomènes qu'elles produisent ressemblent exactement à ceux qui se passent dans la crise d'anaphylaxie. Ils en diffèrent cependant, puisque dans l'anaphylaxie l'organisme a été préparé par une première injection d'albumine hétérogène, il a été sensibilisé et il a conservé une telle sensibilité vis-à-vis de cette substance que l'injection d'une dose minime ultérieure suffit à déclancher toute la série des accidents énumérés plus haut.

Dans le cas qui nous occupe, il n'y a pas eu sensibilisation préalable de l'organisme, il n'y a pas d'anaphylaxie. Pour produire les mêmes accidents que l'anaphylaxie, il faut en plus que l'albumine hétérogène soit inoculée à dose importante ou injectée

en pleine circulation par la voie endoveineuse. Ce choc n'est pas anaphylactique, il est peptonique, protéique, ou mieux antigénique (Biedl et Kraus, Arthus, Nolf). Widal l'a appelé une hémoclasie.

Arrêtons-nous un moment. Nous sommes sur les sommets de la pathologie générale et notre horizon est vaste. Ce choc antigénique n'est pas le résultat d'une expérience de laboratoire destinée à satisfaire l'esprit, ce n'est pas un jeu de physiologie sans intérêt pratique et sans applications fécondes. Quand un impaludé, par exemple, fait un accès fébrile, il ne se passe dans son sang rien autre chose qu'un choc protéique. les parasites qui y colonisent, arrivés au stade de corps en rosace, éclatent ; un grand nombre de formes plus jeunes, de mérozoïtes, brusquement libérées, arrivent dans le sang et y produisent une crise vasculo-sanguine qui a été bien étudiée par Abrami et Senevet. Quand on lève le garrot hémostatique jeté à la racine d'un membre écrasé et qu'on voit se développer chez le blessé l'état de shock, on n'assiste à rien autre chose qu'à un choc protéique, résultat du passage dans le sang des albumines mises en liberté par l'écrasement des cellules surtout musculaires — Quénu l'a bien prouvé. Le choc qui accompagne l'occlusion intestinale, c'est encore le même accident causé par la résorption massive des protéoses contenues dans l'anse étranglée (Wipple et Cooke).

Quel est le mécanisme intime de ce phénomène ? On ne le sait pas de façon sûre. Cependant, à cause de la brusquerie de son apparition, à cause de la prédominance de son action sur le sang, à cause de l'absence de toute trace de son passage, on est amené à croire qu'il résulte de l'agrégation et de la désagrégation de complexes colloïdaux du sang : l'équilibre colloïdal du sang est bousculé, peut-être par un mécanisme électrique. D'ailleurs tous les corps qui produisent ce choc n'ont de commun que leur nature colloïdale, Arthus et Nolf l'ont montré.

L'effet de peptone, comme dit Nolf, est bien la même chose. Mais à cause de la façon dont cet auteur est arrivé à l'utiliser et surtout à cause de l'étude magistrale et de la vaste expérimentation qu'il en a faites, il vaut la peine qu'on s'y arrête.

« Depuis longtemps, dit Nolf, dans une conférence à la Faculté de Médecine de Paris, le 21 janvier 1919, je m'étais dit que la peptone serait peut-être utile à l'effet de combattre un météorisme abdominal menaçant, car j'avais pu constater après beaucoup d'autres physiologistes, avec quelle énergie et quelle persistance l'intestin d'un chien se contracte, qui vient

de recevoir de la peptone dans une veine. Ce fut sur un cas de l'espèce, chez une femme atteinte de fièvre typhoïde grave, avec un ventre très météorisé, que je résolus de tenter l'expérience en juillet 1916.

» Pour obtenir l'effet souhaité, il fallait utiliser la voie intraveineuse.

» Je choisis la dose de 3 centigrammes de peptone sèche par kilogr. de poids du sujet humain. La quantité totale de peptone, soit 1 gr. 5, fut dissoute dans 200 cc. de solution saline isotonique. L'injection fut faite vers midi très lentement en 30 minutes environ. Après une heure et demie, la malade fut prise d'un frisson violent et prolongé qui faisait monter la t° de 40°6 à 42°. Mais déjà une heure après, la t° commençait un mouvement de descente qui l'amenait lentement, le lendemain matin, à 36°6. En même temps, on constatait une amélioration très nette de l'état général. Ultérieurement la fièvre remonta, mais sans plus atteindre les niveaux élevés où elle se maintenait avant l'intervention et la maladie, qui s'annonçait comme devant être très grave, évolua sans incidents vers la guérison, suivant un mode bénin. Entretemps, le météorisme disparaissait. Mais ce phénomène local, qui avait été la raison de l'intervention, disparaissait derrière les phénomènes d'avant-plan qui s'étaient déroulés du côté de la t°, du pouls et de l'état général.

» La réaction avait été trop nette, les résultats trop heureux pour que de nouveaux essais ne fussent pas tentés. Depuis, j'ai soigné de nombreux cas de fièvre typhoïde grave par les injections de peptone, et ce, avec succès. »

Comme l'action de la peptone n'a aucune prétention à la spécificité, son emploi devait s'étendre et on n'y manqua pas. D'autres affections aiguës médicales, comme le rhumatisme articulaire aigu, furent traitées à la peptone, bientôt aussi les infections chirurgicales, staphylococcies, streptococcies les plus variées. Chez toutes indistinctement surviennent des phénomènes immédiats, la crise avec hausse tensionnelle, tachycardie, frisson et élévation de la t°, et des phénomènes éloignés, les seuls recherchés, baisse de la t°, disparition des microbes circulants, amélioration de l'état général. C'est l'effet de peptone, que Nolf sépare nettement du shock peptonique. Celui-ci est l'effet brutal, malfaisant, produit par des doses trop élevées.

La peptone ne fait rien autre chose que troubler momentanément l'équilibre colloïdal du sang ; elle n'a pas d'autre action que des foules de substances qu'on a essayées : sérum frais du

malade, cultures tuées de microbes saprophytes, eau distillée, lait (Schmidt, 1915). Mais ces substances sont inconstantes et Nolf les rejette parce qu'il les connaît moins bien que la peptone dont nous avons déjà une vaste et ancienne expérience. Notons en passant l'histoire curieuse de ce médecin anglais Auld (1918) qui, ayant obtenu des fabricants le substrat employé par eux pour stabiliser leurs solutions colloïdales métalliques, obtint avec le mélange de peptone ou de gélatine ou de sérum qu'ils utilisaient, le même effet qu'avec le produit complet.

Nous voilà bien loin, semble-t-il, de la vaccinothérapie. Nous n'en avons cependant jamais été aussi près. Ce choc antigénique, cet effet de peptone, cette hémoclasie dont nous venons de voir la cause, les modalités et l'effet clinique, ce n'est que le phénomène, inexplicable autrement, de l'amélioration subite produite par l'injection de vaccin. L'immunité ne peut pas encore être mise en cause, ni son action bienfaisante, que déjà le choc a produit son effet salutaire. Les albumines humorales sont profondément remaniées ; peut-être des substances utiles à la défense sont-elles mises en liberté ; peut-être cette secousse fait-elle sortir des appareils producteurs des produits de réserve ou d'extrême secours ; peut-être les cellules blanches du sang sont-elles stimulées comme par un violent coup de fouet : qu'importe pour le moment le secret du mécanisme, puisque nous pouvons déjà l'utiliser victorieusement contre l'infection.

Dr L. Fouarge.

SCIENCES TECHNIQUES

La turbine à gaz Holzwarth (1). — Au début de 1914, on avait commencé aux ateliers Thyssen et C° de Mulheim (Ruhr) les essais d'une turbine à gaz à explosion de 1000 chevaux, construite d'après les plans de l'ingénieur Hans Holzwarth. La guerre vint interrompre ces expériences, qui furent reprises en 1918 immédiatement après la conclusion de l'armistice. Les résultats qu'elles ont donnés jusqu'à présent sont des plus intéressants et montrent que la question de la turbine à gaz est

(1) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 28 février 1920.

décidément sortie du domaine de la théorie pour entrer dans une phase de réalisation pratique. Les études faites sur la machine en marche montrèrent qu'il était avantageux pour utiliser dans les meilleures conditions le volume du gaz en jeu et pour améliorer le rendement thermique, de travailler avec des pressions d'explosion de 12 à 14 kilos par centimètre carré et de comprimer d'abord le mélange gazeux à une pression de 2 à 3,5 kilos/cm². La durée de la détente a été fortement réduite pour diminuer les pertes de chaleur par transmission aux parois de la chambre d'explosion et des tuyères. Dans la turbine actuelle, la détente ne prend qu'un dixième de seconde, alors qu'elle est d'un tiers de seconde environ dans les moteurs à gaz stationnaire du type courant. Rien ne s'opposerait à ce qu'elle fût réduite davantage ; dans les moteurs d'aviation qui tournent à 1500 tours par minute, elle n'est, en effet, que de deux centièmes de seconde. Mais, pour diminuer encore la durée de détente, il faudrait accroître la section transversale de la tuyère, ce qui conduirait à augmenter la longueur des aubages et partant la résistance offerte au courant gazeux. C'est pourquoi on n'a pas jugé opportun de descendre en dessous d'un dixième de seconde.

Contrairement à ce qui se passe pour les turbines à vapeur, où l'action du fluide moteur s'exerce d'une façon continue sur les aubages, dans la turbine à explosion le jet gazeux est intermittent. Il se présente à intervalles de temps très rapprochés et agit à la façon d'un choc sur les ailettes. Pour cette raison, leur forme et leurs moyens d'attache ont dû être étudiés tout spécialement. Après avoir essayé sans grand succès, pour leur fabrication, différents types d'acier, on s'est finalement arrêté à l'emploi de fer doux électrolytique. Soumises à un traitement thermique convenable, les ailettes faites de ce métal, dont les caractéristiques sont données ci-après, se sont montrées les plus recommandables pour les turbines à gaz.

Charge de rupture :	45,10	kilos	par	millimètre	carré	à 15°	Ctgr.
» » »	26,75	»	»	»	»	» 450°	»
Allongement :	27,2	pour cent	à	15	degrés	Ctgr.	
»	50,2	»	»	» 450	»	»	
Contraction :	73,0	»	»	» 150	»	»	
»	88,4	»	»	» 450	»	»	

Alors que les ailettes d'acier subissaient rapidement des modifications dans la structure du métal, ainsi que des craque-

lures et des fissures après quelque temps d'emploi, le fer électrolytique paraît être à même de supporter très bien l'usure et de résister aux effets de corrosion, à condition, cependant, que le gaz de la combustion soit exempt de vapeur d'eau.

De nombreux essais avec différents types de tuyères ont permis de constater que le modèle utilisé dans la turbine à vapeur de Laval était celui qui convenait le mieux à la turbine à gaz et qu'il n'y avait pas lieu de le modifier sensiblement pour l'appliquer à cette dernière. On a également pu vérifier expérimentalement les déductions théoriques concernant la conservation d'un bon rendement quand la vitesse d'écoulement des gaz varie dans de larges limites. Par exemple, si la vitesse au début de la détente tombe de la valeur initiale de 1500 mètres par seconde à 1000 mètres, le rendement de la turbine n'en est que fort peu affecté et conserve une valeur élevée.

En décembre 1919, des essais officiels de consommation de la turbine Holzwarth eurent lieu en présence de nombreux fonctionnaires de l'administration des chemins de fer prussiens. On utilisa comme combustible du gaz de four à coke d'un pouvoir calorifique de 3860 calories par mètre cube. La turbine entraînait une dynamo à courant continu chargée au moyen d'une résistance liquide. La tableau ci-dessous résume les résultats du principal essai dont la durée fut de quatre heures.

Consommation de gaz par heure, ramenée à la température de 0 degré centigrade et à la pression normale de 760 mm de mercure. Mètres cubes :	300	400	550	630
Nombre de calories fournies par heure :	1.500.000	1.530.000	2.110.000	2.415.000
Puissance en chevaux fournie par la turbine :	70	250	724	984
Consommation en calories par cheval-heure :	16.430	6.090	2 915	2.450
Rendement en pour-cent :	3,9	10,4	21,8	26

La puissance requise pour la compression de l'air et du gaz représentait à peu près 5,7 pour cent de la chaleur de décharge.

Une turbine horizontale de ce modèle, d'une puissance de 3.000 tours par minute, destinée à entraîner une dynamo à courant continu et à fonctionner avec du gaz d'huile, est actuellement en construction. Le compresseur et l'excitatrice de la dynamo sont montés sur la même base que la machine principale. Le compresseur fonctionne au moyen de vapeur produite

par une chaudière chauffée par les gaz d'échappement de la turbine. Il est donc actuellement démontré qu'il est possible de réaliser industriellement une turbine à gaz présentant un excellent rendement thermique, et il est probable que dans un avenir rapproché elle viendra en compétition avec les autres types de moteurs à gaz et même à vapeur.

Une lampe électrique sans filament (1). — On connaît le principe de l'éclairage imaginé vers 1893 par l'Américain Macfarlan Moore et qui constitue une application industrielle des tubes de Geissler. Il consiste à utiliser comme conducteur de l'électricité un gaz raréfié rendu luminescent par le passage d'un courant alternatif à haute tension. Son caractère distinctif réside dans l'emploi de tubes de 20 à 150 mètres de longueur et de 4,5 centimètres environ de diamètre, traversant ou contournant l'espace à éclairer. On fait usage de courant alternatif de tension et de fréquence normales dont on élève le voltage au moyen d'un petit transformateur statique. On obtient par ce système une lumière très douce, fort agréable et dont la teinte varie avec la nature du gaz renfermé dans le tube. L'anhydride carbonique donne une belle lumière blanche légèrement blentée rappelant beaucoup la lumière du jour et qui est surtout appréciée là où il est nécessaire de pouvoir juger exactement des couleurs, comme dans les teintureries, magasins de tissus, etc. Avec l'azote, on a une teinte rosée et avec le néon, gaz rare de l'atmosphère, une lumière rougeâtre caractéristique. Cet éclairage par long tube était déjà arrivé vers 1909 à un haut degré de perfectionnement. Par l'invention de la valve automatique régularisatrice du degré de vide, M. Moore avait porté à plus de dix mille heures la durée de fonctionnement d'une installation dont le coût de premier établissement et la consommation revenaient à moindre prix que celui correspondant à l'emploi de lampes à incandescence. Depuis, il a encore apporté d'intéressants perfectionnements à ce genre d'éclairage, et il s'est surtout préoccupé de réaliser, par son système, des sources de faible intensité lumineuse. A la fin de 1916, il a réussi à mettre au point un tube au néon de 2,50 mètres de longueur et 22 millimètres de diamètre consommant treize watts; seulement on peut le monter sur un socket qui comporte le petit transformateur nécessaire à son fonctionnement. Sa consommation spécifique est de 0.74 watt

(1) General Electric Review, juillet 1920.

par bougie sphérique. Son seul inconvénient est d'avoir encore des dimensions trop grandes et d'exiger un courant à haute tension pour son alimentation. La lampe toute nouvelle que M. Moore vient d'inventer échappe à ce reproche. Bien qu'elle ne soit pas tout à fait au point, elle marque cependant une étape importante et permet d'entrevoir un avenir plein de promesses pour l'éclairage par luminescence destiné peut-être à supplanter un jour celui par incandescence.

Si on considère la décharge électrique dans un tube à vide, on peut y distinguer cinq éléments bien distincts : 1) La bande lumineuse qui remplit presque tout le tube et que l'on nomme la colonne positive. Elle se termine près de la cathode par : 2) l'espace obscur de Faraday auquel fait suite : 3) la courte lumière dite lumière négative après laquelle vient : 4) le deuxième espace obscur ou espace obscur d'Hittorf et enfin : 5) la faible lueur négative à la cathode elle-même. Jusqu'à présent on n'avait utilisé pour l'éclairage par luminescence que la colonne positive, à cause de son importance considérable. Dans la nouvelle lampe dont il est question ici, on l'a, au contraire, entièrement éliminée pour ne garder que la lumière négative comprise entre les deux espaces obscurs d'Hittorf et de Faraday. On est de cette manière arrivé à réduire considérablement les dimensions de l'enveloppe et à lui donner une forme rappelant celle des ampoules à incandescence ordinaires. Cette lampe, sans filament, fonctionne directement sous courant alternatif à 220 volts en consommant 21 watts, dont 3,6 sont perdus par effet Joule dans une résistance ohmique, donnant lieu à une chute de tension de 33 volts. Cette résistance logée dans la base de la lampe est nécessaire pour en assurer le bon fonctionnement, mais on espère, quand tout sera bien au point, pouvoir la supprimer ou tout au moins considérablement la réduire. La consommation utile est donc, actuellement, de 17,4 watts. La puissance lumineuse fournie n'atteignant que 1,16 bougie sphérique, la consommation spécifique ressort à 15 watts par bougie. On voit immédiatement par ce chiffre la nécessité de perfectionner notablement la lampe pour lui permettre d'entrer en compétition avec les autres systèmes d'éclairage électrique.

Le problème à résoudre consiste à réduire autant que possible les radiations calorifiques et à augmenter les radiations lumineuses. Il n'apparaît pas du tout comme insoluble, mais donnera lieu certainement à de grandes difficultés de réalisation dans la pratique. Sous sa forme actuelle, la lampe se présente

extérieurement comme une ampoule usuelle à incandescence. Elle porte, en son centre, dans le sens de la longueur, un bâtonnet en verre fixé à la base et servant de soutien à deux croix en verre à quatre branches fixées, l'une près du fond, l'autre à l'extrémité opposée. Aux branches de ces croix sont attachées quatre électrodes d'aluminium ayant chacune 15 centimètres de longueur, 1.6 centimètre de largeur et 1,5 millimètre d'épaisseur. L'ampoule est remplie de néon qui n'est pas complètement purifié et renferme 25 % d'hélium environ ; la pression est de 3,5 millimètres de mercure. En fonctionnement, la température atteinte est de 40 degrés et la lumière fournie présente une belle teinte jaune. Celle-ci provient exclusivement de la cathode, l'anode restant obscure. Dans le modèle décrit, deux des plaques d'aluminium jouent le rôle de cathode et sont donc brillantes, tandis que les deux autres qui servent d'anode ne donnent pas d'éclairage.

Ce genre de lampe fonctionne également bien sous courant continu et sous courant alternatif. Cependant, pour en retirer les meilleurs résultats, il a été jugé utile d'étudier séparément la construction de chacun des deux types. Les résultats des expériences faites jusqu'à présent montrent la possibilité de faire fonctionner la lampe d'une manière d'autant plus économique que la tension est élevée. C'est pourquoi M. Moore s'attache tout d'abord à la réalisation industrielle du modèle à 500 volts.

Les convertisseurs à vapeur de mercure de grande capacité (1). — Parmi les différents moyens dont l'ingénieur dispose pour transformer le courant alternatif en courant continu, l'un des plus simples est certainement l'emploi du convertisseur à vapeur de mercure. Celui-ci imaginé par l'Américain Cooper Hewitt repose sur le principe suivant : le courant ne peut traverser un récipient vide d'air et contenant de la vapeur de mercure sous très faible pression, qui provient d'une électrode formée par ce métal, que quand celle-ci joue le rôle de cathode. L'emploi de cet appareil agissant comme une véritable soupape, a été longtemps confiné aux faibles puissances. Le courant que l'on pouvait y admettre était, en effet, limité par les dimensions acceptables pour les électrodes en platine nécessaires à la traversée du verre dont était faite l'enveloppe. Les

(1) The Electrician, janv. 1920.

plus gros appareils n'admettaient qu'une intensité de 100 ampères maximum, valeur qu'il ne semblait pas possible économiquement de dépasser. Tel quel, ce type de convertisseur a cependant trouvé des applications nombreuses pour la charge d'accumulateurs, l'alimentation de petits moteurs et de lampes à arc en série. Il donne lieu à une chute de tension de 13 à 20 volts suivant la tension appliquée et fonctionne avec un rendement élevé à toute charge. En présence de ces résultats favorables, la firme Hartman & Braun de Francfort mit à l'étude la construction de convertisseurs de grande capacité du système imaginé par l'ingénieur Schaefer. En 1913, la société suisse Brown Boveri de Baden racheta les brevets qui avaient été pris et s'assura les services de Schaefer et de ses collaborateurs pour la continuation des études et des essais. Ces techniciens rencontrèrent les plus grandes difficultés pour la mise en pratique de leurs idées. Ne pouvant faire usage de verre pour des appareils de grande dimension, ils utilisèrent des enveloppes métalliques rendues suffisamment étanches pour pouvoir y maintenir un vide de 0,02 millimètre de mercure. Des introductions isolantes pour les conducteurs amenant le courant aux électrodes exigèrent l'invention de modèles de joints parfaitement étanches. Il fut nécessaire d'imaginer les moyens propres à empêcher la production de courts-circuits entre les anodes multiples de ces appareils. On y arriva en étudiant convenablement leurs positions réciproques et en forçant l'arc à suivre un chemin bien défini, au moyen d'écrans isolants et de surfaces-guides.

Depuis 1915, la firme Brown Boveri a réussi à construire des convertisseurs de grande capacité d'un fonctionnement irréprochable. Dans les grands modèles, la chambre où éclate l'arc est pourvue d'une double paroi dans laquelle circule de l'eau de refroidissement qui passe également autour de la cathode et du couvercle des anodes. Ces dernières sont encore en outre refroidies au moyen d'un cylindre à ailettes renfermant de l'eau et recouvrant leur extrémité supérieure. On peut employer de l'eau courante pour le refroidissement mais le plus souvent c'est toujours la même qui sert après avoir passé dans un réfrigérant.

Le vide est obtenu à l'intérieur de la chambre de l'arc au moyen d'une pompe à deux étages permettant d'atteindre 0,005 millimètre de mercure. Après quelques mois de service l'appareil est scellé définitivement et il n'est plus nécessaire de

faire fonctionner la pompe, car le vide se maintient alors à une valeur comprise entre 0,01 et 0,1 millimètre de mercure.

La construction de ces appareils restant pratiquement la même pour des tensions comprises entre 110 et 800 volts, un petit nombre de types différents permet de satisfaire à toutes les exigences de la pratique. On a surtout jusqu'à présent développé la construction de deux modèles : celui de 250 et celui de 500 ampères. Des débits plus grands exigent encore la mise en parallèle de plusieurs convertisseurs.

Un nouveau modèle de 1000 ampères à 750 volts est actuellement en cours de construction et on envisage la mise à l'étude d'appareils susceptibles de fonctionner sous des tensions allant jusque 2400 volts.

Un nouveau procédé de navigation pour l'entrée et la sortie des ports (1). — M. W. A. Loth, à la suite de recherches de laboratoire faites en 1914 et 1915 et d'expériences concluantes effectuées en rade de Brest en 1919, vient de proposer un procédé nouveau permettant aux navires de franchir en toute sécurité les passes d'entrée et de sortie des ports, sans avoir recours à un pilote et quand les méthodes ordinaires d'orientation font défaut, par temps de brouillard par exemple. Cette méthode fut mise au point dans des essais récents effectués au large de Brest avec l'autorisation et le concours du ministère de la Marine. Ce nouveau moyen de navigation repose sur l'emploi d'un câble armé parcouru par un courant alternatif de fréquence musicale d'une intensité de 2,5 ampères seulement, qui est immergé sur le fond de la mer suivant la direction que doivent suivre les navires. Le courant électrique crée dans l'espace environnant un champ magnétique, dont les lignes de force sont perpendiculaires au câble. A bord du navire, on installe deux cadres verticaux en bois A et B de 2,50 mètres sur 1 mètre, comportant chacun deux enroulements. Les bobines du premier groupe sont orientées transversalement au plan longitudinal du navire. Elles comportent 60 spires sur le cadre A et 10 spires sur le cadre B. Celles du second groupe sont disposées suivant l'axe du bâtiment et comptent respectivement 10 spires sur A et 60 sur B. Le champ magnétique du câble provoque dans ces bobines la formation de courants induits qui, amplifiés, donnent lieu à des sons musicaux caractéristiques

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 11 oct. 1920.

dans des téléphones que l'on dispose dans une salle d'écoute sur la passerelle.

Quand le navire se rapproche du câble-guide en faisant route perpendiculairement à sa direction, les sons perçus aux téléphones des enroulements transversaux augmentent d'intensité, alors que les appareils reliés aux bobinages longitudinaux restent muets. L'inverse se présente pour une direction du navire parallèle au câble. Cet ensemble est complété par deux cadres horizontaux de 2,50 mètres sur 1 mètre également, disposés, l'un à tribord, l'autre à bâbord, aussi écartés et élevés que possible. Ils portent chacun un enroulement unique, connecté aussi à des téléphones qui permettent de recevoir les sons correspondant aux courants qui y sont induits dans un rayon de 6000 mètres. Le cadre horizontal le plus rapproché du câble-guide donnant une réception téléphonique plus intense que l'autre, il est possible par cette disposition de situer très nettement de quel côté du câble se tient le navire quand il court parallèlement à lui.

Pratiquement, un navire arrivant du large et voulant entrer dans un port, recherchera d'abord l'extrémité du câble-guide dont la position sera tracée sur les cartes marines, en repérant sa marche au moyen de l'écoute sur l'enroulement de 60 spires du cadre A. Une fois le contact pris sur la bobine de 10 spires, il suffit de suivre la direction du câble en se disposant à droite de celui-ci, l'autre côté étant réservé aux navires sortant du port.

D'après des expériences récentes, des dirigeables et hydroavions pourraient, dans des conditions analogues, suivre un câble sous-marin immergé entre deux ports. A 200 mètres d'altitude, la portée de réception est de 3,200 mètres.

Le système est aussi applicable à la navigation aérienne au-dessus de la terre dans ce cas, on utilise une ligne montée sur poteaux et rappelant l'aspect d'une ligne télégraphique.

L'installation du port de Brest est en voie d'exécution ; son câble-guide aura 80 kilomètres de longueur et couvrira tous les dangers de l'entrée. Des équipements semblables sont envisagés pour d'autres ports, notamment pour les communications entre la France et l'Angleterre. Cette découverte ouvre à la navigation des horizons niveaux et dès à présent on peut dire que là où se trouveront des câbles-guides, les dangers de la brume et des récifs n'existeront plus.

La télégraphie et la téléphonie sans fil à bord des aéroplanes (1). — Le développement que tend à prendre l'aviation commerciale exige que les aéroplanes utilisés pour des services réguliers soient munis d'appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil perfectionnés. Il est, en effet, nécessaire que le pilote puisse se mettre en communication avec les stations météorologiques échelonnées sur sa route et chargées de lui fournir des indications sur les conditions atmophériques. Il doit pouvoir correspondre avec les aérodromes près desquels il passe et ceux où il désire atterrir ; en mer, il peut être indispensable d'appeler des navires au secours en cas d'accident ou pour toute autre cause. Entre appareils en vol même, il est souvent avantageux de s'informer mutuellement de la vitesse et de la direction du vent ou de se transmettre des renseignements de service.

En général, on ne prévoit pas à bord d'un aéroplane commercial la présence d'un télégraphiste spécialiste. On laisse au pilote ou à son aide le soin d'utiliser les appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil. Il est donc de toute nécessité de simplifier ceux-ci au maximum et de rendre leur emploi aussi pratique que possible. Comme on ne dispose que de fort peu de place près du pilote, on fait le plus souvent usage de la commande à distance. Les principales pièces de l'appareillage, telles que les valves d'émission, les circuits oscillants, inductances, condensateurs, amplificateurs, etc., sont réunis dans une ou deux caisses attachées en un endroit quelconque du fuselage, où elles gênent le moins. Ces circuits sont alors contrôlés par un petit commutateur émission-réception et un dispositif d'accord placés à portée immédiate de l'opérateur.

Un point important à considérer est la réduction du poids des appareils ; or, la pièce la plus pesante est l'accumulateur à basse tension nécessaire pour l'alimentation de la lampe-valve d'émission et de réception. On a imaginé, pour l'éliminer, le dispositif suivant : Il est d'usage d'employer pour la production du courant à haute tension servant à la transmission, un générateur entraîné par une petite hélice. Il porte ordinairement, outre l'enroulement à haut potentiel donnant en moyenne 1500 volts, un second bobinage à courant continu, basse tension qui sert pour l'excitation. En augmentant l'importance de ce dernier, on peut en retirer également le courant voulu pour

(1) The Wireless World, août 1920.

l'alimentation de la lampe-valve. Seulement, dans l'application on se heurte à deux difficultés. La première, c'est d'obtenir une intensité constante avec des vitesses de rotation variables et la seconde, plus sérieuse, est d'éviter que l'influence du redressement du courant au collecteur ne se fasse sentir dans les circuits oscillants. Cependant, aucun de ces deux inconvénients n'est insurmontable et, en étudiant bien la construction de la génératrice, il est possible en augmentant son poids de 1000 à 1500 grammes de supprimer complètement les 12 à 15 kilos de la batterie. Pour le contrôle du courant, le mieux est d'utiliser un petit régulateur Tirill qui donne complète satisfaction à cet égard. En ce qui concerne l'influence du collecteur, une construction soignée la diminue beaucoup. On peut l'éliminer complètement en disposant en dérivation entre les bornes à basse tension une petite batterie-tampon. Comme protection supplémentaire, on entoure parfois les circuits oscillants d'un écran métallique.

On utilisera vraisemblablement dans l'avenir le courant à haute tension du générateur d'émission pour la réception, ce qui permettra de diminuer encore le poids de l'appareillage, en supprimant la batterie de piles sèches actuellement en usage.

Les stations fixes avec lesquelles les aéroplanes ont à se mettre en rapport travaillent sur des longueurs d'onde nettement déterminées. Il est donc nécessaire que l'appareillage de bord soit prévu pour que sans difficulté l'opérateur puisse rapidement modifier et ajuster sa longueur d'onde d'émission pour la mettre en accord avec celle du poste où il veut envoyer un message.

A cause du bruit du moteur, les microphones utilisés doivent être établis de façon qu'ils soient peu affectés par lui tout en permettant une transmission claire de la parole. On n'arrive à un bon résultat dans cette voie qu'en les choisissant suivant le plus ou moins de bruit que fait le moteur. Dans l'avenir, il est à prévoir qu'on munira les microphones d'amortisseurs réglables de manière qu'un seul et même appareil puisse convenir pour travailler à proximité de moteurs plus ou moins bruyants.

La sécurité de fonctionnement qui est une condition essentielle à bord des aéroplanes exige une construction solide des appareils et des circuits. Ils doivent être à même de supporter sans dommages les vibrations et les chocs auxquels ils peuvent se trouver soumis.

En général, on n'éprouve pas de difficulté pour réaliser une

bonne transmission téléphonique entre l'aéroplane et le sol du moment que les circuits sont bien établis, mais la transmission inverse est beaucoup moins facile. Pour que le pilote puisse comprendre distinctement ce qu'on lui dit, il faut, à cause du bruit intense qui règne sur l'appareil en plein vol, que la parole ne soit guère déformée. A ce point de vue, il est préférable de faire usage de téléphones-récepteurs de grand diamètre avec gros diaphragmes qui déforment moins les sons que ceux de faible diamètre et de mince diaphragme.

Les étincelles de la magnéto d'allumage du moteur provoquent fréquemment des troubles dans les appareils de réception et brouillent les messages reçus. Pour les éliminer, il suffit de disposer des écrans magnétiques autour du système d'allumage et des circuits oscillants.

Maurice Demanet,
Ingénieur civil.

OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS (1)

ARCHIVIO DI STORIA DELLA SCIENZA, diretto da Aldo Mieli. — Vol. I. 1920. — Nardecchia, Roma.

Cette Revue paraît en 4 fascicules par année. Elle a pour but d'accueillir et d'organiser le travail fait en Italie concernant l'histoire des sciences particulières, de la philosophie, et en général du développement de la culture scientifique.

L'ARCHIVIO contiendra : — une série d'articles originaux sur diverses matières — une revue bibliographique des travaux italiens d'histoire des sciences — une revue bibliographique des travaux étrangers importants — des notes et comptes rendus développés.

Prix de l'abonnement : 35 lires pour l'Italie ; 40 lires pour les autres pays.

Ernest Lebon. — TABLE DE CARACTÉRISTIQUES DE BASE 30 030 donnant en un seul coup d'œil les facteurs premiers des nombres premiers avec 30030 et inférieurs à 901800900. Tome I (fasc. 1). Tableau I.I' = Bk + 1. Table des caractéristiques K < 30030, K variant de 1 à 4680. — Un vol. (28 × 23) de XXIV-56 pages, broché. — 15 fr. Majoration temporaire : 100 %. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Dans l'*Introduction* l'auteur expose la méthode inventée par lui en 1912 et qui permet de renfermer sous un nombre relativement restreint de caractéristiques le secret de la composition des nombres. Le *mode d'emploi*, qui est seul nécessaire à connaître pour savoir se servir de la table, indique comment on lit dans la table de caractéristiques et comment on se sert du tableau I.I' = Bk + 1. Aucune connaissance spéciale n'est demandée au calculateur qui effectue mécaniquement le calcul élémentaire indiqué.

A. Buhl, prof à la Fac. des sciences de Toulouse. — GÉOMÉTRIE ET ANALYSE DES INTÉGRALES DOUBLES. — Un vol. de 68 pages (208 × 130) avec 4 fig. dans le texte. — De la collection « Scientia ». — Paris, Gauthier-Villars, 1920. Prix : 3 fr. Majoration temporaire : 100 %.

Table des Matières : CHAP. I : L'identité fondamentale. Formules de Riemann et de Stokes. — CHAP. II : Géométrie de la formule Stokes. Travaux de MM. G. Humbert et G. Kœnigs. — CHAP. III : Intervention des courbures, des contours et des cloisons. Formules d'Ossian Bonnet et de M. P. Appell. — CHAP. IV : Étude de la formule (II). Travaux de M. E. Goursat — CHAP. V: La formule de Stokes sur les surfaces algébriques. Travaux de M. E. Picard.

Hatton J. L. S., M. A. prof. Univ. of London. — THE THEORY OF THE IMAGINARY IN GEOMETRY TOGETHER WITH THE TRIGONOMETRY OF THE IMAGINARY. — Un vol. de VII + 215 pages (24 × 17). — Cambridge University Press, 1920.

(1) Sous ce titre la Rédaction annonce, sans pour cela en donner d'appréciation, les ouvrages récents. Elle se réserve de publier ultérieurement l'analyse critique de ceux qu'elle juge devoir intéresser spécialement ses lecteurs.

Table des Matières : I. Imaginary points and lengths on real straight lines. — Imaginary straight lines. Properties of semi-real figures. — II. The circle with a real branch. The conic with a real branch. — III. Angles between imaginary straight lines. Measurement of imaginary angles and of lengths on imaginary straight lines. Theorems connected with projection.—IV. The general conic. — V. The imaginary conic. — VI. Tracing of conics and straight lines. — VII. The imaginary in space

Index of theorems.

Index of terms and definitions

Aubert P., professeur au lycée Henri IV et **Papelier G.**, professeur au lycée d'Orléans — EXERCICES DE CALCUL NUMÉRIQUE. Tome I, à l'usage des élèves de mathématiques A et B, de mathématiques spéciales et des candidats aux écoles de Saint-Cyr, navale, centrale, polytechnique, des ponts et chaussées, des mines de Paris et de Saint-Étienne. — Un vol. de 186 pp. (23 × 14) avec quelques figures dans le texte. — Paris, Vuibert, 1920.

Les solutions sont indiquées, souvent avec le détail des calculs.

Table des matières : Première Partie. Calculs arithmétiques.

I. Opérations abrégées : multiplication, division, racine carrée.

II. Approximations numériques. Méthode de Guyou.

Deuxième Partie. Calculs logarithmiques.

III. Expressions algébriques et exponentielles.

IV. Expressions et équations trigonométriques.

V. Résolution des triangles.

Mineur P., ancien élève de l'Ecole normale supérieure, agrégé de sciences mathématiques, professeur au lycée Rollin. — PROBLEMES ET ÉPURES DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. — Un vol. de 202 pages (23 × 14) avec 169 fig. dans le texte. — Paris, Vuibert, 1920.

Table des Matières : Droites. Plans. Perpendiculaires. Distances. Rabattements. Changement de plan. Symétrie. Rotations. Perpendiculaire commune. Angles. Construction et mise en place de polyèdres. Sections planes de polyèdres. Ombres. Sphère. Cônes et cylindres.

Boutroux Pierre, professeur au Collège de France. — L'IDÉAL SCIENTIFIQUE DES MATHÉMATICIENS — Un vol. de 274 pages (19 × 12) de la Nouvelle Collection scientifique. — Paris, Alcan, 1920. — Prix : 8 francs net.

Note de l'éditeur :

Le géomètre grec a une attitude contemplative. Il s'efforce de découvrir par les yeux de l'esprit les propriétés les plus simples, les plus belles du monde des nombres et des figures. Il obtient ainsi une science harmonieuse, mais étroitement et arbitrairement limitée.

La conception qui triomphe au milieu du XVIIe siècle est une conception synthétique, d'après laquelle la mathématique idéale serait une construction logique effectuée suivant des règles fixes sur des éléments fixes.

Aujourd'hui, cependant, il nous apparait que ni la logique ni l'algèbre ne suffisent à guider l'analyste dans l'élaboration de ses théories. Les faits qu'étudient les mathématiciens se présentent comme des données objectives, indépendantes du monde logique dans lequel nous les faisons entrer, et souvent rebelles à nos efforts. C'est de ce caractère des faits mathématiques que cherche à rendre compte la nouvelle doctrine intuitioniste professée par certains mathématiciens contemporains.

Rougier Louis, professeur agrégé de Philosophie. — LA PHILOSOPHIE GÉOMÉTRIQUE DE HENRI POINCARÉ. — Un vol. de 208 pp. (23 × 14) de la Bibliothèque de philosophie contemporaine. — Paris, Alcan, 1920. — Prix : 9 fr. net.

Première partie. — Prolégomènes logiques et mathématiques. Les géométries non-euclidiennes. — I. La géométrie en tant que théorie déductive. — II. Les géométries non-euclidiennes. — III. La systématisation de la géomé-

trie à l'aide de la théorie des groupes de transformations. — IV. L'isomorphisme des groupes et les interprétations euclidiennes des métriques non-euclidiennes.

Deuxième partie. — La théorie conventionaliste des axiomes géométriques. — V. La théorie de la convention. — VI. La géométrie et l'empirisme. — VII. La géométrie et le kantisme. — VIII. Conclusion. — Bibliographie chronologique des articles de Poincaré sur les principes de la géométrie.

Cotton Émile, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble. — Cours de Mécanique générale. (Introduction à l'Étude de la Mécanique industrielle). Unités. Travail. Dynamique du point et des systèmes. — Un vol. de 138 pages (25 × 17) avec 40 fig. dans le texte, de la Bibliothèque de l'Élève Ingénieur. — Grenoble, Jules Rey. — Paris, Gauthier-Villars. — Prix : 8 francs, plus la majoration temporaire.

Extrait de l'Introduction : « Les données physiques des questions de mécanique industrielle sont généralement très complexes, et le problème « Déterminer le mouvement d'un système connaissant les forces et les liaisons » ne s'y pose pas avec une précision obligeant à insister beaucoup sur les équations différentielles auxquelles il conduit. J'ai donc, parmi les problèmes de cette nature, choisi seulement les plus simples, ceux qui fournissent un schéma commode pour la théorie des appareils de mesure.

Les principes généraux, comme ceux des forces vives et des vitesses virtuelles, ont été expliqués autant que possible à l'aide des faits d'expérience courante ; ces faits suffisent, ce me semble, à montrer qu'une connaissance nette de ces principes est indispensable pour l'analyse des phénomènes, qui doit naturellement précéder toute prévision ».

Stuyvaert M., Correspondant de l'Académie royale de Belgique, Prof. à l'Univ. de Gand. — Statique dynamique. — Un vol. de 205 pages (23 × 15) avec 58 fig. dans le texte. — Gand, Van Rysselberghe et Rombaut, 1920. — Prix : 20 francs.

Table des matières : Statique du point. Statique graphique. Principe du travail virtuel. Solides pesants. Machines simples. Systèmes funiculaires et articulés. Attraction de sphères. Cinématique du point. Dynamique du point. Cinématique des solides. Dynamique des systèmes. Moment d'inertie. Mouvement relatif du point.

Connaissance des Temps ou des Mouvements célestes à l'usage des astronomes et des navigateurs, pour l'an 1921, publiée par le Bureau des Longitudes. — Paris, Gauthier-Villars.

La seule modification, très légère, faite à partir de cette année dans la composition des tables, est que dans l'éphéméride du Soleil, au lieu de donner les valeurs de l'angle horaire du soleil moyen ou temps moyen à midi vrai et de l'angle horaire du soleil vrai ou temps vrai à midi moyen, on donne simplement les valeurs à midi vrai et à midi moyen des corrections toujours petites E et E' qu'il faut ajouter algébriquement au temps vrai pour avoir le temps moyen ou au temps moyen pour avoir le temps vrai. E est l'équation du temps, E' l'équation du temps changée de signe.

Bigourdan G., membre de l'Institut. — Bibliothèque bibliographique et documentaire Section des sciences pures et appliquées. Troisième partie comprenant l'Astronomie, la Géodésie et la Géophysique. — Un vol. de 258 pages (26 × 17). — Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Table des matières : Introduction. — I. Classification de la Royal Society. — II. Classification décimale. — III. Index alphabétique.

Henroteau F., Astronome à l'Observatoire d'Ottawa. — Les étoiles simples. — Un vol. de 244 pages (18 × 13) avec figures dans le texte. — Encyclopédie scientifique. Bibliothèque d'astronomie et de physique céleste.

Directeur : J. Mascart. — Paris, Doin, 1921. — Prix : broché 8 francs; cartonné toile : 10 francs.

Enumération des chapitres : I. Grandeurs stellaires. Constellations. — II. Classification des étoiles. Catalogues et cartes. — III. Classes spectrales et évolution des étoiles. — IV. Photométrie. — V. Couleurs. — VI. Parallaxes. — VII. Mouvements propres. — VIII. Vitesses radiales. — IX. Mouvement propre du Soleil. — X. Dénombrement et distribution des étoiles. — XI. Température des étoiles. — XII. Scintillation des étoiles.

Boll Marcel. — Précis de Physique (Introduction a une deuxième étude de la Mécanique et de la Physique). — Un vol. de x + 613 pages (24 × 14) avec 246 figures dans le texte. — Paris, Dunod et Pinat, 1920. — Prix : 15 fr. Majoration temporaire : 100 %.

Avertissement de l'éditeur : « Le *Précis de Physique*, que nous éditons aujourd'hui, a été rédigé d'après le programme d'admission à l'école de Physique et de Chimie ; il correspond sensiblement aux programmes d'admission à l'Institut agronomique et à l'Institut de chimie appliquée. Cette « Introduction à une deuxième étude de la Physique » intéressera en outre les élèves qui veulent compléter leurs études secondaires pour se présenter aux autres grandes Écoles ou pour préparer la licence ès-sciences ; elle s'adresse aussi aux élèves des Ecoles d'Arts et Métiers et des Instituts techniques ; enfin à tous ceux qui, possédant déjà une première culture scientifique, désirent se rendre compte de manière précise du mécanisme suivant lequel les mathématiques s'adaptent à l'étude des phénomènes physiques. »

J. Tillieux, Directeur du Collège de Mechelen-sur-Meuse. — Essai d'un Traité élémentaire de physique selon les théories modernes, 2e édition entièrement refondue et mise à jour. — Un vol. de 17 + 794 pages, avec 698 fig., 8 planches hors texte et 7 planches en couleurs. — Paris et Liége, Ch. Béranger, 1921.

Extrait de la préface :

« La première édition de ce Traité [1916], épuisée depuis un an, a été enlevée avec une rapidité qui a dépassé tous nos espoirs ; nous avons donc pu croire, sans trop de présomption, que notre manière d'exposer les phénomènes naturels n'est pas dépourvue d'intérêt. Aussi, enhardi par cet encouragement, avons-nous osé aborder dans cette seconde édition d'un manuel que nous voulons laisser élémentaire, assez bien de questions d'un ordre plus élevé, notamment en ce qui concerne les dimensions, le nombre et les mouvements des molécules, des atomes et des corpuscules ; nous nous sommes évertué à mettre en lumière combien ces calculs, d'apparence purement théoriques, ont eu leur répercussion pratique.

» Malheureusement pour nous, les temps troublés dans lesquels la première édition a vu le jour n'étaient pas favorables à la critique et nous n'avons reçu aucune indication sur des corrections ou des améliorations à introduire. Nous avons dû nous contenter de nos seules lumières pour discerner les rectifications, les amplifications et les mises à jour qui s'imposaient. »

de Bellescize H. — Étude de quelques problèmes de radiotélégraphie. — Un vol. de VIII + 174 pages (25 × 17) avec 62 fig. dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1920. — Prix : 8 fr. Majoration temporaire : 100 %.

Extrait de la préface :

Ces notes, dont le but primitif était de condenser, pour aider ma propre mémoire, des points acquis par une suite d'observations et de réflexions, se présentent dans l'ordre des problèmes pratiques qui se posaient au jour le jour. Je les ai rassemblées par ordre chronologique, en supprimant seulement les applications militaires. On voudra bien excuser le décousu des notations ; malgré le manque d'homogénéité de ces notes, il s'en dégage aisément des principes généraux qui peuvent guider le technicien dans un domaine encore très obscur il y a 6 ou 7 ans.

Table des matières : Prédétermination du rayonnement d'une antenne. — Rendement des postes de t. s. f. à étincelles. — Procédé d'élimination des émissions et des perturbations très amorties. — Note sur les appareils de réception. — Note sur un amplificateur à résistances et basse fréquence. — Note sur un système de couplage pour postes de t. s. f. à impulsion. — De quelques erreurs affectant les indications des montages de t. s. f. — Calculs relatifs aux petits cadres. — Note sur l'utilisation de la formule d'Austin et sur la sécurité des communications. — Compensation des petits cadres. — Effet de l'isolement des pylônes sur le rayonnement.

Goldschmidt Robert B. et **Braillard Raymond.** — La Télégraphie sans fil au Congo belge. Une œuvre du Roi. — Un vol. de 120 pages (25 × 18) avec 79 gravures. — Bruxelles, Dewit. Hayez. 1920.

Énumération des chapitres : I. La T. S. F. est indispensable dans les Colonies. — II. Le réseau de T. S. F. au Congo belge. — III. Les problèmes de la T. S. F sous les tropiques. — IV. Les perturbations atmosphériques. — V. Comment vaincre les obstacles à la T. S. F. — VI. Description d'un poste de T. S. F. congolais. — VII. Organisation générale du service de la T. S. F. — VIII La liaison Congo-Belgique par la T. S. F. — IX. Le développement futur du réseau congolais. — X. La T. S. F. appliquée aux moyens de transport. — XI. La T. S. F. et la science — XII. Conclusion.

Henri Viard. — Vocabulaire, en cinq langues, de télégraphie et téléphonie sans fil, avec les définitions officiellement adoptées et un répertoire alphabétique. — Un vol. oblong (14×23) de XII-108 pages, cart., 7,50 fr. Majoration temporaire : 100 %.

Extrait de l'avertissement aux lecteurs : « Cherchez l'*expression connue de vous*, qu'elle soit française, anglaise, italienne, espagnole ou allemande, au **répertoire alphabétique** où tous les termes sont rangés dans cet ordre sans égard à leur langue Le chiffre imprimé en face du mot renvoie à la page où se trouvent les cinq équivalents ainsi que, lorsqu'il y a lieu, les définitions et explications ».

A la fin du volume se trouvent comparés, par parallélisme, les signes radios internationaux et américains, suivis d'un *Procédé mnémo-technique* de nature à faciliter beaucoup l'apprentissage du code Morse.

Boll Marcel. — Cours de chimie (Lois générales, Métalloïdes). 2e édition refondue — Un vol. de XVI + 554 pages (21 × 14) avec 85 fig. dans le texte — Paris, Dunod et Pinat, 1920 Prix : 16,50 fr Majoration temporaire : 100 %.

La première édition de ce livre avait paru en 1918.

Extrait de l'avertissement : « En principe, les lois chimiques sont traitées à propos des phénomènes les plus nets qui servent à les illustrer... Au point de vue théorique, il m'a paru indispensable de donner des développements suffisants aux deux grandes disciplines, l'*énergétique* et l'*atomistique*, qui dirigent les sciences physiques et qui correspondent respectivement à l'étude macroscopique et à l'étude microscopique de la matière... Le cours se termine par un résumé synthétique des principales lois rencontrées, et cette revision conduit tout naturellement à la détermination des masses moléculaires des corps purs et au choix des masses atomiques des éléments ».

Mac Lewis (William C.), professeur de chimie physique à l'Université de Liverpool. — Traité de chimie physique. Traduit sur la 2e édition anglaise par H. Vigneron. Tome I. Théorie cinétique. — Un vol. de 416 pages (25 × 17) avec 52 fig. Paris, Masson, 1920. — Prix : 40 fr. net.

Note de l'éditeur :

Ce traité est divisé en trois parties dont chacune forme un volume. Dans le premier volume, il n'est fait usage que de la théorie cinétique pour rendre compte des phénomènes et pour établir les relations fondamentales de la

chimie physique. Cette méthode a l'avantage d'être directement accessible, d'un exposé très simple et de conduire à des représentations, à des schémas facilement concevables.

Dans le second volume, l'étude des phénomènes traités dans le premier volume est reprise dans un ordre parallèle, en s'appuyant alors sur les principes et les formules de la thermodynamique.

Dans le 3e volume enfin est examinée l'application à la chimie physique, de la théorie des quanta.

Denigès G., professeur de chimie biologique à l'Univ. de Bordeaux. — Précis de chimie analytique, 5e édition. — Un vol. de 1155 pp. (19 × 14) avec 156 fig., 2 planches en noir et 1 planche en couleurs, de la Bibliothèque de l'étudiant en pharmacie. — Paris, Maloine, 1920.

Ie Partie : Généralités et analyse qualitative. — I. Opérations et instruments employés en analyse. — II. Classification, liste, formules et emplois des principaux réactifs chimiques. — III. Caractères et réactions des principales espèces chimiques examinées en analyse. — IV. Analyse qualitative générale. — IIe Partie : Analyse quantitative générale. — I. Méthodes spéciales à l'analyse quantitative. — II. Titrimétrie générale — IIIe Partie : Analyse quantitative spéciale — I Des principales espèces chimiques. — II. Des boissons fermentées, des terres et des engrais. — III. Analyses biologiques.

Hinkisch L., chimiste industriel. — La Chimie a la portée de tous. Notions de chimie générale et de chimie pure. Les applications de la chimie. — Un vol. de 446 pages (21 × 14) avec 41 fig. — Paris, Dunod, 1920. — Prix : 12 francs. Majoration temporaire : 100 %.

Première partie : Généralités, Chimie pure : I. Définition. Classification. Divisions. Lois. Théories. Principes. — II. Métalloïdes. — III. Métaux. — IV. Chimie organique. — Appendice : Aperçu de l'histoire de la chimie.

Deuxième partie : Les applications de la chimie à l'industrie et à la vie de l'homme : V. La grande industrie chimique minérale. — VI. Métallurgie. Sels métalliques et couleurs minérales. — VII. Les matériaux de construction (minéraux), pierres, chaux et ciments, céramique, verrerie. — VIII. Les combustibles. — IX. La chimie et l'alimentation. Industries alimentaires et agricoles. — X. Peaux et cuirs. Fibres textiles animales et végétales. Cellulose et industries connexes. Apprêt des tissus. — XI. Les matières colorantes et leurs applications en peinture. Les couleurs et la peinture; encres et cirages. — XII. Applications diverses de chimie organique. — Indications bibliographiques.

Rosset Paul. — Essais et analyses des produits commerciaux et industriels, et exercices analytiques divers, à l'usage des élèves des Ecoles supérieures de Commerce et d'Industrie, des Étudiants au P. C. N., des Elèves des Lycées, etc. — Un vol. de IX + 127 pages (21 × 13) avec 30 fig. et 10 tableaux. — Paris, Dunod, 1920. — Prix : 3 fr. Majorat. temporaire : 100 %.

La première partie de ces Manipulations comporte spécialement « l'Analyse qualitative des sels » (Recherche de la Base et de l'Acide dans ses composés) avec laquelle les Élèves doivent être familiarisés avant de s'exercer aux « Essais proprement dits » qui constituent la seconde partie de ce volume et qui sont surtout du domaine de la Chimie analytique quantitative.

Samuel Rideal and Associates. — The Carbohydrates and Alcohol. — Un vol. relié toile de XV + 216 pp (24 × 15) avec 11 fig. dans le texte, de la Collection Industrial Chemistry, edited by S. Rideal. — Baillière, Tindall et Cox, Londres, 1920. — Prix : 12 sh. 6 net.

Sommaire : Ie Partie. L'amidon et ses produits. 1e Section. L'amidon. 2e Sect. La dextrine. 3e Sect. Le glucose. 4e Sect. Le maltose. — IIe Partie. Le sucre. 1e Sect. Sucre de canne. 2e Sect. Sucre de betteraves. 3e Sect. Raffinage du sucre. 4e Sect. Sucre d'autres provenances moins importantes. 5e Sect. Le

caramel. — IIIe Partie. La fermentation alcoolique. La bière. 1e Sect. Le maltage. 2e Sect. Le brassage. 3e Sect. La cuisson et le houblonnage. 4e Sect. La fermentation. — IVe Partie. Les vins. 1e Sect. Les raisins et la vigne. 2e Sect. La fermentation. 3e Sect. Le tartre. — Ve Partie. La distillation. 1e Sect. L'eau-de-vie de grains. 2e Sect. L'eau-de-vie potable. 3e Sect. L'alcool industriel. 4e Sect. L'alcool synthétique. — VIe Partie. Le vinaigre. 1e Sect. Préparation du moût. 2e Sect. Acétification. 3e Sect. L'acide acétique. 4e Sect. L'acétone et la glycérine.

Barrowcliff M. et **Carr F. H.** — ORGANIC MEDICINAL CHEMICALS (SYNTHETIC AND NATURAL). — Un vol. de XVI + 331 pages (23 × 15) avec 25 fig. dans le texte. — Collection INDUSTRIAL CHEMISTRY, éditée par S. Rideal. — Londres, Baillière, Tindall et Cox, 1921. — Prix : 15 sh. net.

Table des matières : I. Narcotics and general anaesthetics. — II. Naturally occurring alkaloids and their derivatives. — III. Natural and synthetic local anaesthetics. — IV. Antipyretics and analgesics. — V. Organic antiseptics and disinfectants. — VI. Purgatives. — VII. Vaso-constrictors and vaso-dilators. — VIII. Diuretics and uric acid solvents. — IX. Organo-metallic compounds. — X. The digitalis group, skin irritants glucosides and neutral principles. — XI. Other substances of interest.

Kreith Lucas. — F. R. S., maître de conférences à Trinity College, Université de Cambridge. — LA CONDUCTION DE L'INFLUX NERVEUX. Publié par **E. D. Adrian**, membre de Trinity College, Cambridge. Traduit de l'anglais par **Georges Matine**. — Un vol. de 126 pages (22 × 14) avec 22 fig. dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1920. — Prix : 3 fr. 50. Majoration temporaire : 100 %.

Série de leçons faites en 1914 à University College à Londres. L'auteur, qui avait l'intention de les publier en monographies, ne put écrire que onze chapitres sur treize. Il offrait ses services au pays dès le début de la guerre et fut tué dans un accident d'aéroplane. M. E. D. Adrian a publié le manuscrit complété d'après des notes de l'auteur.

Table des matières : Préface. — Chap. I. Introduction. — Chap. II. La mesure de l'influx nerveux. — Chap. III. Effet de l'intensité du stimulus sur l'influx. — Chap. IV. Rétablissement d'un influx nerveux qui a été réduit. — V. La classe de perturbation à laquelle appartient l'influx. — Chap. VI. L'effet d'un rétablissement imparfait après une conduction préalable. — Chap. VII. La phase supernormale. — Chap. VIII. La consommation dans les tissus centraux et périphériques. — Chap. IX. Tentatives d'explication de la sommation. — Chap. X. La conduction dans les tissus de jonction. — Chap. XI. Intervalle de temps nécessaire pour que deux influx nerveux donnent une sommation. — Chap. XII. Le phénomène de l'inhibition apparente dans les tissus périphériques et leur explication. — Chap. XIII. L'inhibition centrale.

Dalbis L. J., professeur au Collège Stanislas. — ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES. Classe de Philosophie A, B et de Mathématiques A, B. Nouvelle édition conforme aux programmes du 4 mai 1912. — Un vol. de 375 pages (19 × 14) avec 428 fig. dans le texte. — Paris, de Gigord, 1915.

Caractères généraux des êtres vivants. Caractères distinctifs des végétaux. Éléments constitutifs des êtres vivants. La cellule végétale. Tissus végétaux. Principaux types d'organisation dans le règne végétal.

Étude de l'appareil végétatif des phanérogames. Racine. Tige. Feuille.

Nutrition des plantes à chlorophylle.

Nutrition des plantes sans chlorophylle.

Reproduction et développement des phanérogames.

Organisation et reproduction des cryptogames.

Suppléments : I. Exercices pratiques de botanique. — II. Notions historiques. — III. Sujets proposés aux candidats au baccalauréat.

Dalbis L. J., professeur au Collège Stanislas. — ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES, classes de Philosophie A, B et de Mathématiques A, B. Édition conforme aux programmes du 4 mai 1912 — Un vol de 713 pages (19 × 14) avec 520 fig dans le texte. — Paris, de Gigord, 1920.

I Introduction — II. Étude spéciale des fonctions chez l'homme. Fonctions de relation. Fonctions de nutrition. — III. Principaux types d'organisation dans le règne animal. — IV. Phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux. — V. Suppléments : 1 Exercices pratiques — 2 Notions historiques. — 3. Sujets proposés aux candidats au baccalauréat. — Table synoptique des matières.

Boulvin J., professeur à l'Université de Gand, membre correspondant de l'Académie royale de Belgique, correspondant de l'Institut. — CALCUL DES ORGANES DES MACHINES — Un vol. de x + 516 pages, avec 346 fig dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1921. — Prix : 22 fr. 50. Majoration temporaire : 100 %.

L'auteur de cet ouvrage a été frappé soudainement par la mort, le 21 janvier 1920. Le manuscrit, absolument complet, avait été remis à l'éditeur en mai 1919 ; rien n'a été modifié au texte original par ceux qui ont contribué à poursuivre la publication de ce traité.

Table des matières : Titre I : *Préliminaires.* — Chap. I. Les métaux et leurs propriétés. — Chap. II. Rappel des résultats fournis par la résistance des matériaux.

Titre II : *Chaudronnerie.* — Chap. I. Résistance des récipients. — Chap. II. Assemblage par rivures. — Chap. III. Construction des corps des générateurs.

Titre III : *Pièces des machines.* — Chap. I. Organes d'assemblage démontables. — Chap. II. Organes de traction. — Chap. III. Cylindres divers. Enveloppes de turbines à vapeur. — Chap. IV. Tuyauteries. — Chap. V. Bâtis. — Chap. VI. Organes des mouvements de rotation. — Chap. VII. Vitesses critiques et vibrations transversales des arbres. — Chap. VIII. Organes des mouvements alternatifs. — Chap. IX. Calage d'un moyen sur un arbre. — Chap. X. Manivelles et excentriques. — Chap. XI. Pistons. — Chap. XII. Bourrages. — Chap. XIII. Volants. — Chap. XIV Disques et roues de turbines. — Chap. XV. Engrenages. — Chap. XVI. Transmissions par lien flexible.

Coureau R., ancien ingénieur au Corps des Mines, ancien membre du Comité général des Pétroles. — TECHNIQUE DES PÉTROLES. — Un vol. de 406 pages (19 × 13) avec 19 planches hors texte contenant 152 figures. — Paris, Doin, 1921. — Prix : 16 francs.

Avertissement de l'éditeur : La première partie de l'ouvrage traite de l'extraction de l'huile minérale *(géologie, prospection, sondage, exploitation par puits et galeries, législation)* ; la deuxième partie est consacrée au traitement de l'huile minérale *(classification, chimie des pétroles, essais des produits, traitement industriel, stockage et transport).* Un chapitre sur le *chauffage au mazout* et une bibliographie très documentée complètent cette encyclopédie du pétrole.

Les questions complexes abordées dans ce travail sont d'ailleurs exposées avec une méthode et une clarté qui en rendent l'étude particulièrement aisée et attrayante ; l'auteur semble avoir été surtout guidé par le désir de se mettre à la portée du plus grand nombre de lecteurs, et il a parfaitement réalisé ce but.

Malgorn G., lieutenant de vaisseau. — LEXIQUE TECHNIQUE ANGLAIS-FRANÇAIS, avec la collaboration de M. **Desmarets**, licencié ès sciences. — Machines-outils, moteurs à combustion interne, électricité. Constructions navales, métallurgie, etc. — Un vol. de XXII — 216 pages (20 × 130). — Paris, Gauthier-Villars, 1920. — Prix : 10 francs. Majoration temporaire : 100 %.

Introduction. — L'auteur ayant eu besoin d'un dictionnaire récent pour des traductions techniques anglaises, et n'en ayant pas trouvé, s'est décidé à en

rédiger un lui-même. Il s'est servi pour cela des dictionnaires existant déjà, des ouvrages spéciaux, des publications techniques anglaises et américaines (*Engineering*, *Engineer*, *Electrical world*, *American machinist*, *Motor age*, etc.) et enfin de catalogues d'appareils ou de machines-outils.

Quand ce lexique fut terminé, la librairie Gauthier-Villars et Cie proposa à l'auteur d'y incorporer les notes recueillies par M. Desmarets pour les lettres A, B, C, D, E, F. Il est regrettable pour l'ouvrage que ces notes n'aient pas été étendues aux lettres suivantes. Les éditeurs tiendront compte de ce *desideratum* dans une seconde édition.

Hoornaert André, avocat, volontaire de guerre. — Les Durs Réveils. Destiné aux jeunes recrues de l'Armée Belge. Causeries familières et loyales sur les sanctions physiques des plaisirs de rencontre. Avec une préface de M. le Docteur Xavier Francotte, professeur à l'Université de Liége — Un vol. de 120 pages (18 × 10) — Bruxelles, Dewit, 1921. — Prix : 2 francs.

Une souscription, destinée à répandre gratuitement cette brochure en français et en flamand, a été ouverte dans la *Libre Belgique* et a rapporté environ 12000 francs.

Les instituteurs, les ecclésiastiques, les hommes d'œuvres, etc. peuvent se procurer gratuitement ce travail. Ceux qui peuvent payer sont instamment priés de le faire, pour permettre une plus large diffusion.

Adresser toute la correspondance à M. Janssens Paul, rue Keyenveld, 29, Bruxelles.

Moreux Th. (Abbé). — Les Énigmes de la Science. — Un vol. de 302 pages (20 × 14), avec fig. dans le texte et planches hors texte Paris, Doin, 1921.

Table des matières : Les Révélations de la grande Pyramide. — L'Énigme solaire — Les Étoiles nouvelles. — Les influences astrales. — L'Énigme Martienne. — Comment on a mesuré la distance de la Terre au Soleil. — La vie et la mort du Soleil. — L'Énigme de notre climatologie. — Où nous entraîne le Soleil ? — L'Énigme de nos origines.

Adrien Naville, professeur honoraire des Universités de Neuchatel et de Genève. — Classification des Sciences. Les idées maîtresses des sciences et leurs rapports, 3e édition entièrement renouvelée Un vol. de la Bibliothèque de Philosophie contemporaine, 322 pages (22 × 14). Paris, Alcan, 1920. — Prix : 10,50.

Cette troisième édition est presque un ouvrage nouveau. Non seulement l'ordonnance des matières a été notablement modifiée, mais le cadre a été élargi. Le chapitre de la Sociologie, par exemple, est tout à fait nouveau.

La division fondamentale reste toutefois la même. L'auteur continue à penser qu'il y a trois groupes de sciences : sciences de lois, sciences de faits et sciences de règles. A côté du rapport de dépendance entre ces sciences, il montre aussi les différences. Il s'efforce de dissiper des confusions d'idées trop fréquentes, spécialement celles des deux idées de loi et de fait.

La classification des sciences n'est pas un traité de logique. Tandis que la question logique, c'est : Comment doit-on chercher ? la question traitée ici, c'est : Que doit-on chercher ? Dans certains domaines heureusement elle peut être remplacée par celle-ci : Qu'a-t-on trouvé ?

Paucot René, agrégé des Sciences naturelles. — Le Rôle des sciences dans l'Éducation. — Un vol. de 255 pages (19 × 12). — Paris, Colin, 1920. — Prix : 6,50 fr.

Note de l'éditeur :

Sans méconnaître les bienfaits de la culture latine, consacrés par une expérience plusieurs fois séculaire, M. Paucot montre que les sciences ont un pouvoir éducateur au moins égal à celui qui, dans l'esprit de beaucoup de gens, est l'exclusif apanage des vieilles Humanités.

Il s'élève contre les programmes actuels qui ne consentent à faire une place aux sciences qu'en considération de l'utilité immédiate qu'elles peuvent avoir, sans songer qu'elles sont aussi un instrument d'éducation de premier ordre. Dans une analyse très serrée, M. Paucot montre comment il faut se servir de cet instrument, selon l'âge et le développement intellectuel de l'enfant, afin d'en obtenir le meilleur rendement.

Séailles, Gabriel, professeur à la Sorbonne. — LA PHILOSOPHIE DE JULES LACHELIER. — Un vol. de 172 pages (19 × 12) de la Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Alcan, 1920. Prix : 8.40 fr.

Table des matières : I. La dialectique négative. L'empirisme. La théorie de la substance. — II. La dialectique positive. L'espace et le temps. Leur déduction. — III. La dialectique positive. Mécanisme et finalité. — IV. La méthode de réflexion. Psychologie et métaphysique. — V. Psychologie : les trois vies ; vie animale, vie humaine, vie divine. — VI. La morale et la religion. — VII. Conclusion.

Tisserand, Pierre. — ŒUVRES DE MAINE DE BIRAN, accompagnées de notes et d'appendices, publiées avec le concours de l'Institut de France (Fondation Debroune et Gas). Tome I. Le Premier Journal. — Un vol. de LXXV — 312 pages (23 × 14) avec 2 planches hors texte, de la Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Alcan, 1920. — Prix : 21 fr.

Note de l'éditeur :

On ne connaît guère de Maine de Biran que la philosophie de l'effort ou du moi ; c'est en effet le centre de sa philosophie : mais si l'on veut remonter jusqu'aux sources, il faut se reporter aux écrits qui composent la plus grande partie de cet ouvrage. On saisit là le caractère original de la philosophie de Maine de Biran ; c'est une sorte d'autobiographie psychologique : les faits qu'il constate appartiennent à des ordres différents qu'il considère comme irréductibles. Pour lui, l'intuition n'est pas une déduction anticipée ; il a horreur de l'esprit de système : sa philosophie est une philosophie du discontinu, de la contingence.

De Ridder, Alfred, dir. gén. au Min. des Aff. étr. — HISTOIRE DIPLOMATIQUE DU TRAITÉ DE 1839 (18 avril 1839). — Un vol. de 390 pages (26 × 17) — Paris et Bruxelles, Vromant, 1920. — Prix : net 20 fr.

Les événements que M. De Ridder a racontés dans son livre « La Belgique et la Prusse en Conflit », servent en quelque sorte d'introduction aux pourparlers qui amenèrent le Traité du 19 avril 1839. Ils influèrent sur eux dans une large mesure et expliquent en partie l'hostilité que montra la Prusse envers nous lorsqu'il s'agit de déterminer d'une manière définitive notre statut politique. Le récit que l'historien fait des négociations, en se servant surtout des correspondances diplomatiques de l'époque, montre avec quelle énergie et quelle ténacité indomptables Léopold Ier et le comte de Theux, qui dirigeait alors le Département des Affaires étrangères, défendirent, sans trouver nulle part en Europe un appui quelque peu énergique, les intérêts territoriaux et financiers de la Belgique. C'est un spectacle qui ne manque pas de grandeur, que celui de cette lutte où le Souverain et l'homme d'État ne cédèrent aux injonctions des cinq plus grandes puissances européennes que sous une impérieuse nécessité, et non sans retirer de leur résistance la satisfaction d'avoir amélioré certaines des stipulations draconiennes contenues dans les XXIV articles.

LES DIVERSES FORMES
DE
L'ÉNERGIE RAYONNANTE

Chacun sait plus ou moins que la Physique moderne évolue vers une unité croissante ; personne aujourd'hui n'ignore qu'il n'y a pas de différence essentielle entre la chaleur et la lumière. Mais beaucoup ne réalisent peut-être pas assez les conquêtes récentes de cet esprit de synthèse qui s'efforce d'établir l'unité véritable de la plupart des formes connues d'énergie, de rapprocher et soumettre aux mêmes lois des phénomènes aussi disparates en apparence que les rayons de Röntgen ou les ondes de télégraphie sans fil. On voudrait ici, sans formules mathématiques, dût la précision en souffrir quelque peu, exposer comment le physicien en est arrivé à ce rêve de vouloir, dans l'étoffe unique de l'énergie rayonnante, se tailler une Physique une et cependant assez compréhensive.

Pour tout résumer en une phrase : quelle différence y a-t-il entre une onde de T. S. F., un rayon lumineux, le rayon X d'une ampoule radiographique et enfin un des rayons γ émis par un grain de radium ? Si variés que soient ces phénomènes, le physicien vous répondra qu'ils ne diffèrent pas plus que les notes d'une gamme. Dans tous les cas, c'est le même milieu hypothétique, l'éther, qui, comme la surface d'un lac agitée par la chute d'une pierre, vibre, d'une vibration transversale à la direction de propagation des ondes, tandis que celles-ci progressent avec une vitesse constante de

300 000 kilomètres par seconde. La seule différence entre ces phénomènes est que pour les ondes de T. S. F. la fréquence ou nombre de vibrations par seconde est de 20 000 à 50 000; pour la lumière elle est de 360 à 770 trillions; pour les rayons X elle atteint trois millions de trillions, et enfin pour les rayons γ du radium elle s'élève à trente milliards de milliards par seconde (1). Pour démontrer cette proposition il nous faut exposer les bases de la théorie électromagnétique de la lumière.

La perturbation électromagnétique. — Soit une petite masse d'électricité, un grain, un électron pour dire le mot : il sera, si l'on veut, supporté par un grain de matière avec lequel il voyagera mais qui n'intervient pas dans le phénomène et ne sert qu'à satisfaire les esprits que déconcerterait l'idée d'un petit grain d'électricité sans aucun support. Cet électron produit tout autour de lui un champ de forces centrales, c'est-à-dire que dans l'espace qui l'entoure se manifestent des attractions ou des répulsions dont les directions (lignes de forces) convergent toutes vers un centre qui est cette masse même. Elle se comporte un peu comme un soleil qui crée autour de lui un champ radial de gravitation. Et dans l'un et l'autre cas la force exercée en un point est proportionnelle à la masse attirante et en raison inverse du carré de la distance à celle-ci. Tel est le champ électrostatique.

Mettons en mouvement de translation à vitesse uniforme notre petit soleil chargé d'électricité : le champ électrique radial persiste et va se déplacer, c'est trop clair. Mais un phénomène nouveau surgit : tant que dure le mouvement il se produit un champ magnétique, qui a ses lignes de forces non plus radiales

(1) On écrit 30×18^{18}, ce qui signifie : le nombre 30 suivi de 18 zéros.

mais circulaires. Cela veut dire qu'une parcelle d'un corps magnétique, si elle pouvait ne porter qu'un pôle, le pôle Nord, par exemple, serait sollicitée à tourner comme un satellite autour de notre petit soleil. Nous verrions ce grain de limaille de fer décrire sa trajectoire sous l'influence d'une force radiale d'attraction électrique, d'une force centrifuge égale et contraire et d'une force magnétique tangentielle qui entretiendrait sa rotation. Telle la pierre d'une fronde avant son lancer décrit son mouvement circulaire sous l'influence d'une force radiale qui est la tension de la corde, d'une force centrifuge, et d'une force tangentielle qui lui est communiquée par un léger mouvement du poignet. Ici, en plus, comme le noyau central continue à se déplacer, le satellite le suivra et décrira dans son sillage une sorte d'hélice spirale ou vrille.

Supposons maintenant non plus une seule masse électrique en translation, mais un chapelet indéfini de ces masses, un train de minuscules wagons atomiques, chacun portant son électron. Le phénomène qui était fugitif et passait devant nos yeux comme un éclair va devenir, au même point, constant. Un tel chapelet de grains d'électricité pourrait bien être ce que nous avons l'habitude d'appeler un courant ; et en effet des lois connues nous enseignent que en tout point de l'espace avoisinant un fil conducteur parcouru par un courant se superposent : 1° un champ électrostatique dont les lignes de forces divergent à partir du fil, 2° un champ magnétique dont les lignes de forces sont circulaires et, par suite, perpendiculaires à celles du champ électrique. Notons enfin que la direction du courant ou du déplacement de la masse électrique initiale est elle-même perpendiculaire aux deux précédentes. Ces trois directions sont entre elles comme les arêtes d'un cube. Tel est le champ électromagnétique.

A ce propos on remarquera l'étroite union, disons

mieux, l'unité de ces deux branches de la physique qu'étaient l'étude de l'électricité et celle du magnétisme. Depuis longtemps on avait découvert l'action des aimants sur les courants et des courants sur les aimants : rotations, attractions, etc. Déjà Ampère avait montré qu'un courant électrique circulaire peut être assimilé à un aimant plat (ou feuillet magnétique) et que l'on peut constituer des électro-aimants par des bobines ou solénoïdes. La fusion des deux domaines s'affirme chaque jour davantage : il n'est guère de phénomène provoqué par un champ électrique dont on ne puisse produire l'analogue par un champ magnétique.

L'onde de T. S. F. — Mais reprenons notre problème de la charge électrique en mouvement et cette fois donnons au noyau électrique un mouvement de translation, non plus constant, mais variable, accéléré, par exemple. Tant que dure l'accélération, apparaît un nouveau phénomène : une force parallèle au déplacement de la masse initiale, de même sens ou de sens inverse suivant que le mouvement s'accélère ou se ralentit.

Ce phénomène est déjà connu sous le nom d'induction. Pendant la période d'établissement d'un courant, c'est-à-dire pendant le temps que les grains d'électricité qui le constituent mettent à s'ébranler pour arriver à leur vitesse de régime, naît dans un fil parallèle une force électromotrice d'induction qui tend à créer un courant de sens inverse, en fin de compte à déplacer des grains ou masses électriques.

Mais si dans l'espace environnant il n'y a pas de fil conducteur, la force électromagnétique due à l'accélération de la charge n'en prend pas moins naissance. L'éther est le siège d'une perturbation qui est précisément une onde électromagnétique, c'est-à-dire un ébran-

lement instantané et unique qui se propage à partir de la masse initiale avec la vitesse de 300 000 km/sec. Cette onde ressemble au « rond » que produirait un enfant en jetant une pierre à la surface du lac, si toutefois il parvenait à n'en produire qu'un seul. Dans les deux cas l'onde, c'est le terme technique, se propage : ici avec une vitesse de quelques décimètres, là avec une vitesse de 300 000 kilomètres par seconde ; ici circulairement à la surface du liquide, là sphériquement dans l'éther ; ici c'est la matière qui vibre et dont on suit le frémissement, là c'est une particule d'électricité qui se déplace et propage un ébranlement autour d'elle. Mais le phénomène est analogue : ici une onde mécanique, là une onde électromagnétique ou de télégraphie sans fil.

Bien évidemment si le mouvement de notre petit soleil excitateur, au lieu d'être un simple déplacement dans un sens, devient un mouvement alternatif comme celui du piston d'une machine à vapeur, nous n'aurons plus une seule onde, mais une série d'ondes égales, ce que l'on appelle un train d'ondes entretenues : c'est comme si on jetait dans un lac une à une et régulièrement toutes les billes d'un sac.

Concluons : dans tout l'espace qui entoure un électron en vibration alternative se propage un train régulier d'ondes électromagnétiques. A Hertz revient la gloire d'avoir produit de telles ondes par la décharge oscillante d'un condensateur ; à Marconi, celle de les avoir utilisées pour la transmission de messages à distance et de les avoir recueillies avec le récepteur imaginé par Branly.

Théorie de la lumière. — Et maintenant que nous savons ce qu'est une onde électromagnétique, posons la question qui motivait notre théorie précédente : comment en est-on venu à identifier ces ondes avec la lumière ?

La réponse est simple : cela s'est fait comme pour la plupart des lois physiques : un fait suggère une hypothèse; celle-ci se montre féconde et prend corps; quand elle a fait ses preuves, on l'adopte. Or, que la lumière fût apparentée aux actions électriques ou magnétiques, c'est ce que suggéraient abondamment mille faits constituant ce qu'on appelle l'électrooptique et la magnétooptique.

Ainsi, dès 1845, Faraday avait signalé le phénomène suivant, appelé depuis : polarisation rotatoire magnétique. Si l'on interpose certains cristaux sur le trajet d'un rayon de lumière monochromatique, les vibrations constituant celui-ci, et qui sont transversales à sa direction, au lieu de se produire dans tous les plans passant par l'axe du rayon, ne se produisent plus que dans un plan que nous supposerons vertical pour fixer les idées. Or, ce rayon de lumière, dite polarisée dans le plan vertical, étant soumis à un champ magnétique, le plan de polarisation est dévié et devient, par exemple, incliné de 15 à 20 degrés. Comment expliquer ceci si lumière et magnétisme sont des phénomènes sans lien ?

Plus tard Zeeman (1877) montra que le champ magnétique dédouble ou même triple les raies du spectre d'un gaz lumineux, c'est-à-dire qu'il décompose les ondulations variées émises par ce gaz en deux ou trois « notes » comme un accord parfait majeur. La lumière est donc sous une étroite dépendance du magnétisme. Plus récemment Stark découvrit que les raies spectrales des mêmes gaz incandescents sont dédoublées par un champ électrique comme elles le sont dans l'effet Zeeman par un champ magnétique et que les lois de ces deux phénomènes sont analogues.

Bien d'autres découvertes, telles que l'émission d'électricité par les corps incandescents ou frappés de la lumière, habituaient les esprits au rapprochement de ces phénomènes à première vue disparates. Pour

aller jusqu'au bout, la lumière ne devait être qu'une onde de Hertz. Or cela, tout l'insinuait : leur propagation dans le vide, leur vitesse sans égale de 300 000 kmsec., leur vibration perpendiculaire à la direction de propagation, leur obéissance aux mêmes lois d'interférence (1). D'ailleurs pour échapper à cette conclusion il faudrait supposer tous les corps et le vide même remplis non plus d'un seul milieu mystérieux, l'éther, mais de deux éthers se compénétrant mutuellement et où ces ondes diverses se propageraient indépendamment, quoique, par un hasard étrange, suivant des lois communes.

Bref, l'identité de la lumière et de l'onde de Hertz s'imposait.

Deux objections pouvaient encore retarder cette identification : l'idée, à première vue déconcertante, d'une lumière non lumineuse et ensuite la différence par trop grande de la fréquence vibratoire : deux sons séparés par une octave étant ceux dont les nombres de vibrations sont dans le rapport de deux à un dans le même temps, la lumière visible est à la 37e octave aiguë des grandes ondes de T. S. F., ce qui veut dire que dans le temps d'une vibration de la « note » inférieure on peut compter pour la « note » supérieure 2^{7} ou environ 137 milliards de vibrations. Si donc l'on

(1) Pour ceux à qui ce terme d' « interférence » ne dirait rien, rappelons que quand deux mouvements vibratoires se croisent en un point, s'y superposent, interfèrent en un mot, ils s'ajoutent ou se retranchent et le mouvement résultant a, suivant les cas, une amplitude plus grande ou moindre. De là, en des points voisins, des alternatives de nœuds et de ventres de vibrations. On peut en avoir une image en jetant dans un lac deux cailloux à une petite distance l'un de l'autre : aux points où les « ronds » ainsi produits se croisent il y a suivant certaines lignes vibration, suivant d'autres immobilité. Si au lieu d'un liquide le milieu est l'éther lumineux, il y a des raies brillantes et obscures, des « franges » d'interférence, dont les dimensions, du reste, se relient par des formules très simples aux mouvements vibratoires qui les produisent et sur lesquelles elles nous renseignent. Or, on fait interférer suivant les mêmes lois deux rayons rouges et deux émissions de T. S. F. Ainsi encore s'affirme l'identité

parvenait à montrer l'existence d'une lumière invisible et, par ailleurs, à diminuer la différence de hauteur de ces « sons » trop disparates, les objections seraient réduites à néant.

La lumière invisible infra-rouge. — Or, l'étude spectroscopique des vibrations lumineuses est venue nous fournir ce moyen de démonstration. Si l'on étale un spectre solaire sur une plaque photographique, ou si l'on parcourt le spectre avec un minuscule thermomètre, les effets chimiques et thermiques sont loin de cesser à la limite de visibilité. En particulier du côté des petites fréquences, c'est-à-dire du rouge, on trouve des radiations, dites infra-rouges, qui ne sont plus visibles à l'œil, mais qui sont évidemment les sœurs des précédentes, de celles qui font pour nous la magie des couchers de soleil et des glaciers étincelants. On s'est attaqué à l'étude de ces radiations qui déjà par leurs caractéristiques se rapprochent, quoique d'assez loin encore, des ondes de T. S. F.

Ouvrons ici une parenthèse pour fixer notre vocabulaire. On appelle longueur d'onde d'un mouvement vibratoire la distance sur laquelle il se propage pendant le temps d'une vibration ou période. C'est, si l'on veut, l'écartement de deux rides consécutives formées par un caillou à la surface d'un lac : supposons qu'un bouchon-témoin monte et descende quatre fois par seconde et que les rides s'éloignent de leur centre avec une vitesse de 0^m60 à la seconde, la distance de deux d'entre elles sera de 0^m15 ; c'est la longueur d'onde du mouvement. Cette longueur est en raison inverse de la fréquence. De même la note sonore, la^3, faisant 435 vibrations doubles par seconde et le son se propageant dans l'air avec une vitesse d'environ 340 mètres, la longueur d'onde d'une telle note sera de 340 divisé par 435, soit environ 0^m80 ; et celle du

la[1], à l'octave au-dessus, c'est-à-dire effectuant deux fois plus de vibrations dans le même temps, ne sera plus que moitié moindre : 0^m40. Appliquons ceci à la lumière : un rayon rouge effectue environ 465 trillions de vibrations par seconde et a une vitesse de propagation de 300 000 kilomètres dans le même temps, ce qui donne une longueur d'onde de 6438 dix-millionièmes de millimètre. Pour évaluer commodément des longueurs aussi faibles on a choisi des unités comparables : tandis que l'astronome mesure la distance des étoiles en années de lumière, que l'automobiliste compte en kilomètres, le physicien évalue ses longueurs d'onde en microns et en angströms. Le micron vaut un millième de millimètre ; l'angström en vaut un dix-millionième ; nous les désignerons par les symboles μ et α.

Donc pour étudier les radiations infra-rouges, de longueur d'onde supérieure à 6500 α, on utilise comme source un arc électrique à vapeur de mercure enfermé dans une ampoule de quartz, car le verre cesse bien vite d'être transparent à l'infra-rouge. On analyse et isole les radiations ainsi produites au moyen de corps qui absorbent les unes et réfléchissent les autres, tel l'iodure de potassium qui permet de sélectionner des rayons d'environ 90 μ. On est arrivé ainsi jusqu'à des radiations de $0^m/^m3$ de longueur d'onde (fréquence : un trillion). On a donc pu descendre sans discontinuité neuf octaves depuis la raie rouge du cadmium.

Ondes hertziennes ou de T. S. F. — Si l'on descend ainsi la gamme, on peut essayer de la remonter à partir du bas, c'est-à-dire des ondes de T. S. F. de fréquence bien moindre et de longueur d'onde bien plus considérable.

L'industriel qui fonde une compagnie de télégraphie sans fil cherche à avoir des ondes de grande longueur qui se transmettent mieux malgré les obstacles : on

en a ainsi obtenu de 6000 à 10 000 mètres et même le poste récent de Lyon (la Doua) en transmet de 15 000 m. (fréquence 20 000). Mais le physicien amateur qui s'installe un petit poste se contente d'ondes de 300 à 600 mètres. Rien n'empêche le physicien inventeur de tendre à dépasser cette limite s'il peut par des dispositifs convenables augmenter la fréquence de ces décharges oscillantes. En progressant dans cette voie on a pu obtenir des ondes de 4 mm. (fréquence 80 millions). De là aux derniers rayons infra-rouges il n'y a plus que trois octaves et demie : le fossé restant est insignifiant relativement aux 37 octaves qui séparaient de la lumière visible les grandes ondes de Hertz.

L'ultra-violet. — Si l'on a ainsi franchi les limites du spectre lumineux du côté des petites fréquences, on ne les a pas moins dépassées du côté des grandes : au domaine de l'infra-rouge, on a donné pour symétrique celui de l'ultra-violet. La source est toujours l'arc électrique à vapeur de mercure dont on sélectionne les radiations : vers 4000 α la luminosité disparait ; vers 3600 les prismes dispersifs en verre deviennent opaques, on a recours à des prismes en quartz qui nous mènent jusqu'à 1800 α. Quand le quartz lui-même perd sa transparence, on le remplace par la fluorine et l'on pousse jusqu'à 1250 α. Enfin des procédés spéciaux tels que celui des réseaux gravés sur métal (1) ont permis de descendre jusqu'aux environs de 1000 angströms. Au prix d'assez grands efforts, comme on le voit, on a pu produire des ondes lumineuses invisibles qui effectuent 3000 trillions d'oscillations doubles par seconde. On a donc ajouté à la gamme des ondulations connues deux octaves et demie ; ce n'est pas la der-

(1) Voir plus loin l'analyse des rayons X par ce procédé des réseaux de diffraction.

nière limite et les rayons X vont nous donner mieux encore.

Les rayons X ou de Röntgen. — Si l'on fait passer un courant électrique de grande fréquence et d'assez haut voltage à travers une ampoule de Crookes où l'on a fait un vide de l'ordre du millième de millimètre de mercure (millionième d'atmosphère), on produit des rayons dits cathodiques qui se propagent en ligne droite à partir de l'électrode négative. Röntgen découvrit, il y a bientôt 25 ans, que ces radiations, en tombant sur un obstacle, par exemple, la paroi même de l'ampoule, engendrent de nouveaux rayons, les rayons X doués de curieuses propriétés. Ce qui impressionna le public, c'était, avec leur action sur les plaques photographiques, leur grande facilité à traverser les corps dits opaques; mais ce qui troublait le physicien, c'est qu'on n'arrivait ni à réfléchir, ni à réfracter, ni à diffracter ces rayons. Diverses hypothèses furent émises sur leur nature; mais dans l'ensemble il est plus vrai d'admettre que ces rayons sont des ondes électromagnétiques de très grande fréquence, bien plus rapides que la lumière moyenne. Et ainsi s'expliquerait leur résistance à l'analyse : en effet, pour donner de la chose une image grossière, un mur rugueux pourra réfléchir le son qui a une longueur d'onde notable, mais pas la lumière qui a des ondes beaucoup plus courtes; polissons-le, il devient miroir pour la lumière, mais il reste encore beaucoup trop rugueux pour les rayons de Röntgen.

Comment sortir de cette difficulté ?

Un procédé classique pour obtenir un spectre avec des ondes lumineuses est de les recevoir sur un « réseau de diffraction », plaque polie gravée de traits parallèles et rapprochés (par exemple 200 traits au millimètre), et ces traits doivent être d'autant plus serrés qu'il s'agit d'analyser une lumière de plus

grande fréquence. Il faudrait donc construire pour les rayons X des réseaux peut-être 1000 fois plus serrés. L'idée, vraiment remarquable, de von Laue (1912) fut que les cristaux naturels réalisent précisément ces conditions par leur structure en assises.

En effet, il faut se représenter un cristal comme un empilage régulier de briques pareilles qui sont les molécules ou des groupes moléculaires élémentaires ; deux lignes de « briques » forment deux traits parallèles comme ceux d'un réseau et leur écartement doit être de l'ordre des grandeurs intermoléculaires, que divers procédés permettent d'affirmer voisin de l'angström. Ainsi fut fait, et tout en vérifiant l'hypothèse de la structure en assises des cristaux, on obtint les spectres des rayons X et on détermina leur nature. Ce qui nous intéresse ici, c'est leur longueur d'onde. Elle est variable, mais on a pu obtenir des radiations X dont la longueur d'onde est de 0,38 angström, ce qui correspond à la fréquence de sept milliards de milliards par seconde. On est à 14 ou 15 octaves au-dessus de la région moyenne du spectre visible.

Il faut aller encore plus loin.

Les rayons γ du radium. — On sait qu'un corps radio-actif, tel que le radium, émet trois principales sortes de radiations : α, β, γ. Nous n'avons pas à parler ici des radiations α et β. Quant aux rayons γ, on a montré leur identité avec les rayons les plus pénétrants émis par les ampoules radiographiques et l'expérimentation permet d'affirmer que ce sont des radiations électromagnétiques extrêmement rapides, les plus rapides que l'on connaisse. Elles occupent par conséquent le sommet de l'échelle, de la gamme que nous sommes en train de monter ; leur longueur d'onde est de l'ordre du dixième d'angström (un cent-millionième de millimètre) et la fréquence correspondante est de

trente milliards de milliards. Elles sont un million et demi de milliards de fois plus rapides que leurs sœurs les grandes ondes de T. S. F. et l'intervalle entre elles est de cinquante-trois octaves ; intervalle rempli, nous l'avons vu, sauf quelques lacunes provenant encore de notre ignorance, par les radiations infra-rouges, la lumière visible, les radiations utra-violettes et les rayons X.

Conclusion. — Pour passer des unes aux autres nous avons abordé successivement l'électricité, le magnétisme, l'optique, les phénomènes de l'ampoule de Crookes, le domaine de la radio-activité. Est-il utile d'ajouter que ces vibrations sont, au moins sur plusieurs octaves, porteuses de chaleur ; que c'est même par leur action thermique que souvent on arrive à les déceler; et qu'ainsi nous parvenons à grouper sous le nom général d'énergie rayonnante la plupart des phénomènes physiques; que d'ailleurs cette énergie rayonnante ne diffère pas sensiblement de l'énergie mécanique? Bref, on se rend compte maintenant que la physique tend à s'unifier.

De plus, à chaque instant on passe d'un de ses compartiments dans l'autre. On serait sans doute assez étonné de constater que la mélodie d'un violon puisse en frappant un mur engendrer un faisceau de lumière verte ou rouge. Et cependant la réalité n'est pas très loin de cette hypothèse fantaisiste : les rayons cathodiques en tombant sur un obstacle engendrent des rayons X, qui sont d'une nature toute différente, et ceux-ci, à leur tour, reçus par certains corps, redonnent de la lumière visible par un véritable phénomène de fluorescence.

Et ainsi, tandis qu'autrefois on étudiait dans les cours : Pesanteur et Hydrostatique, Chaleur, Acous-

tique, Optique, Électricité et Magnétisme, c'est-à-dire des traités bien séparés, ces divisions apparaissent aujourd'hui non seulement factices mais gênantes. La Physique est une : elle a pour objet principal les ondes électromagnétiques. Pour rappeler que toutes ces vibrations ne sont que des formes variées d'une même inconnue, l'énergie, on pourrait la nommer de ce seul mot : l'Énergétique.

Émile Delaye,
Ingénieur.

L'Organisation et le Tir de l'Artillerie

On ne lutte pas avec des hommes contre du matériel !

Cela ne signifie pas que les qualités morales du soldat aient moins de valeur, quand le matériel se perfectionne, mais cette formule a résumé une expérience : l'effort le plus héroïque peut n'avoir aucun rendement, si la supériorité du matériel de l'adversaire est écrasante.

Le matériel est donc nécessaire. Il est, d'ailleurs, insuffisant. Qu'adviendrait-il s'il était confié à des lâches ? Il faut du cœur, pour bien utiliser le matériel de guerre !

Après une lutte longue et dure, je ne puis parler en dilettante de l'art de la guerre. Je n'en parle qu'avec émotion, me souvenant des angoisses, des douleurs, des sacrifices qui ont été le prix de la gloire et de la victoire des armées alliées et, avant de crayonner cette esquisse de l'organisation de l'Artillerie, il faut le dire encore : le matériel est indispensable, mais c'est l'héroïsme du combattant, c'est le génie militaire du commandement qui donnent au matériel sa valeur.

L'accroissement du matériel, son perfectionnement ont une conséquence qu'il faut voir nettement et que le Général de Lacroix (1) a résumée dans cette formule : « le centre de gravité des effectifs se déplace constam-

(1) Voir Le Temps du 17 décembre 1920.

ment vers l'arrière ». Cette formule repose sur une statistique bien établie :

En 1914, une armée de 100 000 hommes met en ligne 86 000 combattants avec 4 000 non-combattants, pour 10 000 hommes employés à l'arrière — en 1918, nous avons 74 000 combattants avec 12 000 non-combattants et 14 000 hommes à l'arrière.

Les besoins des usines de guerre sont bien connus et évidents ; les besoins du front en non-combattants sont également indiscutables : il faut 5 hommes pour entretenir et ravitailler un char d'assaut ; il faut 25, 30, 40 hommes pour entretenir et ravitailler un avion de combat.

Et cette nécessité de maintenir au front des non-combattants a, d'ailleurs, une conséquence morale très heureuse : elle permet d'utiliser des hommes et des officiers qui n'ont pas toute l'aptitude physique voulue, dont les muscles, ou les yeux, laissent à désirer, et qui ont néanmoins un cœur de soldat !

Nous avions donc, en 1918, beaucoup de matériel, partant beaucoup de services techniques. Voyons, en ce qui concerne l'artillerie, ce que faisaient ces techniciens.

Quelle activité fébrile, jour et nuit, pendant la guerre, dans nos grandes usines métallurgiques — du haut-fourneau sortent des rivières de feu — des cornues Bessemer jaillissent des flammes rouges, jaunes, vertes, vraie féerie, le soir — autour des presses et des pilons, les gros blocs d'acier, rouge cerise, circulent, portés légèrement par les ponts roulants ; ce seront des canons — de petits blocs d'acier, rouge cramoisi, voltigent dans les airs, en passant d'une équipe d'ouvriers à une autre, drame infernal, car il faut circuler avec mille précautions pour ne pas recevoir un de ces bolides sur le pied ou sur la tête.

Plus loin, ce sont les fours sombres d'où s'échappent des flammes vives et subtiles, léchant les parois, au moment de l'ouverture, quand on va tremper ou recuire. Dans le hall des laminoirs, les barres de métal grenat gémissent en s'étirant et redeviennent ternes, après avoir pris leur forme géométrique définitive. Un brouhaha extraordinaire se fait entendre dans les ateliers de chaudronnerie, c'est le tintamarre des coups de marteau emboutissant les tôles des affûts. Les bois sèchent, dans des étuves paisibles, en attendant de se mner en roues. Dans des ateliers géants, des tours sont alignés qui, indéfiniment, prennent et reprennent des ébauches, pour leur donner les dimensions parfaites prescrites ; des fraiseuses creusent patiemment le métal ; des raboteuses font sauter, sous les filets d'huile salie, les lourds copeaux d'acier tordu et bleui, brûlant les doigts de l'imprudent. Des bassins profonds, servis par des ponts-roulants puissants, avec, au fond, des salles de chauffe et des pyromètres, sont les fosses de frettage, où les longues pièces de marine viennent s'engloutir verticalement. Dans les ateliers de finissage, se fait un travail de précision, un travail d'horloger. Dans un local isolé, dans des salles discrètes, de bonnes vieilles femmes remplissent des douilles en cuivre de 75 mm. avec une drogue d'apparence bien inoffensive, une sorte de ruban de carton, en paquets exactement pesés ; ce sont les charges des obus d'essai.

Ailleurs, dans des laboratoires, des physiciens, des chimistes font des études, récupèrent des sous-produits. Plus loin, des tas de ferraille... plus loin encore les canons mutilés, revenus du front, autour desquels on disserte doctement...

Et cette immense fourmilière, cette ruche, surveillée, assurément, par les ingénieurs et les contre-maîtres de la maison, était en outre, pendant la guerre, contrôlée

par les officiers d'artillerie du Service des Forges et par les contrôleurs, généralement sous-officiers.

Le Service des forges avait pour mission de tout voir, de tout savoir, de tout vérifier.

Voici une coulée d'acier. Le contrôle note son numéro, de sorte que l'on pourra savoir, le cas échéant, que tel canon, qui a éclaté à Verdun, provenait de telle coulée, en janvier 1915, à l'usine de X. Tout doit être classé, étiqueté : rien n'est abandonné au hasard.

Le contrôle s'assure que les essais, chimiques et mécaniques, faits sur la coulée, rendent le lingot recevable : sinon, les contrôleurs rebutent le lingot. Le lingot, reçu, débarrassé des parties malsaines, passe à la forge. Là, une équipe de contrôleurs, jour et nuit, surveille le forgeage et s'assure qu'à aucun moment un bloc, précédemment rebuté, n'a pu s'introduire, par erreur... Chaque pièce est suivie, poinçonnée minutieusement. A côté de la forge, accroupi sur la masse d'acier qui sera un canon, un manœuvre manie une sorte de pistolet automatique, mû par l'air comprimé ; cet homme nettoie le bloc, arrache les criques et découpe, dans les parties destinées à tomber, le métal nécessaire pour les éprouvettes, 20 centimètres dans le sens de la longueur, 20 centimètres dans le sens de la largeur. Les éprouvettes sont confectionnées avec soin et doivent satisfaire à des conditions bien définies, pour la charge de rupture, l'allongement, etc. Les règlements officiels sont très nets, à cet égard, et le contrôle les fait respecter.

M. Bouasse (1) a critiqué ce genre d'épreuve, parce que la science des déformations élastiques et permanentes est fort en retard et, par suite, « il n'existe

(1) H. Bouasse, *Essais des matériaux*, Paris, Gauthier-Villars, 1905.

aucune relation connue entre les résultats de l'essai de traction des éprouvettes et la résistance aux déformations réelles que la pièce est ultérieurement exposée à subir ».

M. Bouasse a parfaitement raison et cette épreuve me paraît bien n'être qu'une précaution un peu indéterminée, mais bonne. Il est bien certain que les conditions de réception du métal à canon sont destinées à évoluer, avec la science. Œuvre de longue haleine, que l'on n'entreprend pas pendant la guerre, parce que la guerre est une action rude, violente, prompte, pendant laquelle on n'a ni le temps, ni la liberté d'esprit voulue pour conduire méthodiquement une recherche scientifique difficile.

Pendant la guerre, on met au point la dose de science que l'on possède, et c'est tout ce que l'on peut faire.

Retenons simplement que la résistance des matériaux est une science dans l'enfance et je crois bien qu'actuellement elle demanderait des expérimentateurs, plutôt que des calculateurs.

Nous ne suivrons pas toutes les phases de la fabrication du canon : travail métallurgique, traitement thermique (1), opérations mécaniques d'usinage. C'est, naturellement, sur le tour qu'on réalise patiemment l'alésage du bloc d'acier, pour lui donner son diamètre intérieur.

On pose les frettes ; puis on creuse les rayures ; on arrive enfin à la forme définitive, après des manipulations très variées. Le frettage mérite quelques réflexions.

Fretter, en général, c'est entourer la partie arrière

(1) Au sujet de la *trempe*, voir les articles de Léon Guillet dans la Revue Générale des Sciences, du 15 juillet au 30 octobre 1920.

du tube du canon, le « tonnerre », d'un manchon d'acier serré. Le serrage est calculé et, par exemple, le diamètre extérieur du tube étant de 175 mm., le diamètre intérieur du manchon sera de 174,5 mm., de sorte que le manchonnage ne pourrait se faire à froid. Mais on chauffe le manchon, son diamètre intérieur croît et on peut alors visser le manchon sur le tube. Quand le manchon s'est refroidi, il comprime, il serre le tube qui pourra, désormais, résister aux hautes pressions de la poudre en combustion. Lorsque le serrage est très faible, on peut manchonner à froid, avec une presse hydraulique.

Dans certains pays, on frette le tube du canon en l'entourant de plusieurs rangées superposées de fil d'acier. On a obtenu d'excellents résultats.

Enfin, certains artilleurs ont émis l'idée de l'*autofrettage* : on remplirait le tube du canon d'un liquide, sur lequel on exercerait une pression formidable.

Peut-on, par ce moyen, obtenir, dans les atomes d'acier, le travail interne grâce auquel le tube aura l'élasticité et la résistance nécessaires ? Je ne suis pas initié, et on ne saurait répondre à priori : l'expérience nous renseignera, un jour.

On conçoit aisément que les nombreuses opérations d'usinage de la bouche à feu comportent une précision serrée et un contrôle sévère, inflexible : gant de velours, peut-être ; main de fer, sûrement. Les rayures du tube et les cloisons (partie métallique séparant deux rayures) seront vérifiées au centième de millimètre près, avec l'étoile mobile. Cet instrument, introduit à l'époque de Gribeauval (inspecteur de l'artillerie sous Louis XV), sert à mesurer les diamètres intérieurs ; il est employé pour vérifier les pièces neuves, et aussi pour reconnaître les érosions et dégradations des pièces en service.

Le rayon géométrique à étudier est matérialisé par

une pointe, mobile sur un plan incliné d'une part et s'appuyant, d'autre part, normalement sur la paroi du tube. La pente de la rampe axiale transforme un déplacement radial de 1/100 de millimètre en un déplacement, sur l'axe du tube, de 1/10 de millimètre, qui est lu, très facilement, sur un vernier.

Ces mesures demandent, évidemment, de l'habitude et du tact. J'ai constaté, un jour, un écart systématique de 1 centième de millimètre entre tous les chiffres obtenus par deux contrôleurs, relativement à un même tube : l'un des deux avait la main très chaude, et dut mettre des gants ! Je ne jurerais donc pas, sur ma tête, qu'on atteigne toujours la précision du centième de millimètre ; mais on atteint bien le cinquantième, et c'est quelque chose.

Le principe du palmer est tout différent. Si le pas d'une vis de haute précision est de 1 millimètre, et si le tambour circulaire de la vis est divisé en 100 arcs égaux, à une rotation d'un arc correspondra un déplacement linéaire de 1/100 de millimètre. Ici encore, il faut une main exercée, pour accrocher le diamètre extérieur d'un cylindre, ne pas prendre une corde ou une oblique.

En particulier, pour le manchonnage, comportant un serrage rigoureusement fixé, excluant l'ovalisation des contours circulaires, on devine avec quel soin seront faites les mesures au palmer et à l'étoile mobile !

Très précis, également, doit être le contrôle du frein hydropneumatique du canon.

Le frein de nos matériels nécessite autant d'usinage que le tube-canon, car il s'agit de découper, dans un bloc d'acier, une série de récipients dont les dimensions auront une précision (j'emploie ce mot une seule fois) colossale. Nous voulons, d'abord, ralentir et limiter le recul, après le coup, c'est le *frein ;* puis remettre rapidement la pièce en batterie, c'est le rôle du *récu-*

pérateur ; nous voulons enfin obtenir ce retour en batterie avec une vitesse à peu près constante, quel que soit l'angle de tir, et c'est la fonction du *modérateur*. Tout ce jeu repose sur des organes mesurés au dixième, au cinquantième de millimètre près.

Le frein d'un canon de 75 mm. limite le recul à 1,20 m. environ, et, en outre, ce recul se fait régulièrement, étant lié au passage d'un liquide par des orifices extrêmement étroits. On crée une résistance supprimant la brutalité de cette poussée en arrière qui accompagne le départ de l'obus. Grâce aux orifices étroits, toute une masse se meut, en glissant onctueusement sur une autre ; le mouvement est souple, léger. Pendant ce recul de 1,20 m. environ, la force vive de la masse reculante peut être emmagasinée par des ressorts dont l'axe est parallèle à celui du tube, et de fait certaines armées emploient des ressorts. Dans les freins hydropneumatiques, le ressort est, en réalité, une masse d'air, qui se comprime et se détend (l'air peut être remplacé par un autre gaz). Ainsi, après le recul, le canon avance de 1,20 m. environ, par un jeu de liquide, de gaz, de tiges, de soupapes, d'orifices calculés et contrôlés. Ce n'est pas tout ; il faut régulariser le retour en batterie. Lorsque le tube est horizontal, le retour en batterie n'a que des frottements à vaincre, la pesanteur n'entre pas en action. Si, au contraire, on tire sous un grand angle, le tube est très incliné, le retour en batterie se fait malgré la pesanteur et il y aurait là une cause de retard si on ne parait le coup par le modérateur. Cet organe, automatiquement, facilite d'autant plus le retour en batterie que le tube est plus incliné ; plus le poids travaille, et plus le modérateur travaille en sens contraire, automatiquement.

Quelles difficultés à vaincre, dans tout cela, en particulier pour rendre étanches les divers réservoirs, accolés les uns aux autres, et traversés par des mécanismes délicats !

Une fabrication précise, comme celle du canon et du frein, repose sur un contrôle consciencieux, fondé sur les mesures, d'une part, et sur l'emploi d'une série de calibres maxima et minima. Par exemple, pour vérifier un trou cylindrique, nous aurons deux cylindres pleins, l'un de 20 mm. de diamètre, l'autre de 20,05 mm.; le premier doit passer et le second ne doit pas pouvoir entrer. Quel que soit le procédé de contrôle, la méthode consiste essentiellement à réaliser l'interchangeabilité totale des organes des matériels, à rendre les divers matériels de 75, par exemple, pratiquement identiques; quel avantage pour les réparations à faire au front !

Avant la guerre, nos ateliers d'artillerie avaient créé cette interchangeabilité totale, pour le canon et la mitrailleuse. Mais lorsque, pendant la guerre, on veut mettre au point une fabrication, je crois qu'il peut devenir indispensable, faute de temps, de sacrifier l'interchangeabilité totale et d'exiger simplement une interchangeabilité limitée... Ce qui n'a pas été mis au point, en temps de paix, a bien des chances de n'être pas pleinement mis au point pendant la guerre.

Dans cette revue très rapide, je ne saurais parler des affûts, qui ont à avaler des percussions violentes, ni des matériels anciens, que toutes les armées ont utilisés, autant que possible, ni des matériels de tranchée, ni du canon d'infanterie, ni des instruments de visée, ni des chargements et des fusées... il faut bien, cependant, regarder, un instant, la fabrication de l'obus vide.

Un wagon arrive à la forge, chargé de petits cylindres d'acier : ce sont les lopins, destinés à faire les obus. D'abord, à la presse, on transforme le cylindre plein en un cylindre creux muni d'un fond, un grand verre à bière ! Cette coupe massive est tréfilée, s'allonge en se régularisant. Puis, un marteau-pilon transforme, en une ogive, les bords de la coupe, portés au rouge brique.

L'ébauche se refroidit dans un coin ; ensuite le tour lui donnera sa forme définitive et une ceinture de cuivre sera posée à la presse. Il faut maintenant faire les vérifications prescrites.

La chambre du canon est calculée, en vue de la pression à obtenir ; la partie rayée du tube est calculée, d'après la vitesse initiale à réaliser ; entre la chambre et les rayures nous avons le cône de raccordement destiné à arrêter l'obus, par la ceinture de cuivre. Il faut donc que les divers diamètres de l'obus soient contrôlés. Il est nécessaire que la chambre du canon soit fermée hermétiquement ; en outre, l'obus doit être apte à recevoir la fusée ; il doit avoir la capacité prévue pour son chargement. Enfin, au point de vue de la balistique extérieure, l'obus doit avoir une longueur donnée, son centre de gravité doit rester entre deux limites fixées et il doit être placé sur l'axe géométrique (sinon l'obus est balourd). L'obus doit encore offrir certaines qualités de résistance. Bref l'obus, comme le canon, donne au contrôle l'occasion d'exercer son talent et sa conscience.

Il ne suffit pas de *mesurer* : il faut voir et *juger*. Il est, en particulier, un défaut grave, qu'on recherche avec soin : la retassure au culot de l'obus. Armé d'une lampe électrique, dans la main gauche, et d'une fine pointe d'acier, dans la main droite, le contrôleur gratte le culot de l'obus et, s'il trouve le défaut, l'obus est rebuté. La retassure, qui se signale par un orifice aux bords irréguliers, minuscule, correspond à une fissure interne, parfois profonde, susceptible de causer cet accident terrible, l'éclatement du projectile dans l'âme du canon. On attribue, en général, la retassure à une insuffisante élimination des parties malsaines du lingot, après la coulée... Ce que nous retiendrons, assurément, c'est que le contrôle doit connaître le métal et la métallurgie.

Une question se pose évidemment : le recrutement des contrôleurs des forges pendant la guerre. Je crois qu'un homme intelligent, qu'il soit « dans le civil » patron serrurier ou licencié ès sciences, arrive vite, s'il est bien dressé, à contrôler quelques objets déterminés. Mais, au contraire, il est fort difficile d'arriver à contrôler, avec compétence, tous les matériels.

Si l'on veut pouvoir former, assez rapidement, des contrôleurs, pendant la guerre, il est nécessaire d'avoir, en temps de paix, un cadre d'officiers, ou d'ingénieurs, ou de contrôleurs d'armes, solidement instruit et exercé. Ne comptons pas trop sur les improvisations en temps de guerre !

La formation du contrôleur est d'autant plus délicate que le contrôle ne saurait conserver, pendant les hostilités, une rigidité algébrique. L'usine présente, un beau jour, un organe, dont la fabrication représente une grande quantité de métal (le métal est difficile à trouver) et plusieurs mois de travail (la main-d'œuvre est limitée, puisqu'elle est une force soustraite aux armées), et cet organe a une défectuosité reconnue. Mais si, avec certaines précautions, avec des avertissements nettement transmis, cet organe est encore relativement utilisable au front, le rebuterons-nous ? C'est en pareille circonstance que s'exerce la sagacité avertie du contrôle, car ce qui est bon est bon, et ce qui est mauvais est mauvais, mais toute la question est de savoir si le demi-bon est utilisable.

Nous ne pouvons suivre les canons et les lots d'obus dans toute la série des épreuves d'essai qui précèdent leur arrivée au front des armées. Voyons-les immédiatement en position, les munitions dans un boqueteau, ou sous un feuillage artificiel, les canons sous bois, ou encore dans le talus bordant un chemin de terre, talus dans lequel des niches sont creusées, pour

le matériel comme pour le personnel. Parfois, la batterie s'abrite dans des ruines qui font penser au « Memento quia pulvis es..... » et les canonniers, dans leurs sabots, ne bougent guère, surtout lorsque le champ voisin porte l'écriteau sinistre : « terrain ypérité »..... Les voilà, ces braves canonniers, immobiles et patients, quand c'est nécessaire, prompts à se déplacer, quand il faut changer de logis, mais chacun sait qu'il leur faut absolument, entre autres choses, leur tabac, leur « pinard » et le respect de leur tour de départ en permission !

Et nous retrouvons ici des techniciens, au service des batteries ; pour comprendre leur rôle, il faut suivre l'ordre historique.

Après deux mois de guerre de mouvement, en 1914, le front s'est à peu près stabilisé pour longtemps, comme une longue corde qui, tirée de deux côtés par des mains vigoureuses, finit par prendre une position d'équilibre autour de laquelle, jusqu'en 1918, on ne verra que d'assez faibles oscillations. La guerre de tranchées commençait, et les gens avertis la prévoyaient très longue. Le service géographique de l'Armée française prit alors une initiative remarquable et proposa au Général Joffre d'adapter (1) « à la guerre de position, que l'on venait d'inaugurer, les procédés de tir en usage jusqu'ici dans la guerre de siège. Le Général Commandant en chef accepta, sans la moindre hésitation, cette offre du Service Géographique et lui laissa complètement carte blanche pour cette nouvelle organisation ».

Ce que devint, peu à peu, cette organisation, nous le verrons et ainsi nous nous rendrons compte de l'un des aspects de la vie, sur le terrain des opérations, de

(1) Le Général Bourgeois était alors le Directeur du Service Géographique. Voir son article dans la REVUE SCIENTIFIQUE, 27 novembre 1920.

ces batteries et de ces munitions dont nous avons regardé, dans l'usine, la naissance et la lente croissance.

Après la guerre de 1870, les Français avaient prévu, pour la défense de leurs places fortes, comme pour l'attaque de Metz, Strasbourg et Thionville, que chaque armée de siège aurait, dans son état-major, sous le nom de « brigade géodésique », un groupe d'officiers du Service géographique, spécialisés en matière de géodésie rapide et de topographie, destinés à préparer les tirs d'artillerie de haute précision et les tirs indirects. Ces brigades géodésiques ont été la cellule élémentaire, autour de laquelle le Service géographique a créé un grand corps vivant.

Pendant la guerre, on développe surtout ce qui existait déjà en germe !

Naturellement, sur un front stable et d'une longueur immense, le tir de précision s'imposait, dès octobre 1914, si on voulait éviter le gaspillage des munitions, gaspillage qui peut amener la disette. Il faut le redire, au bout d'un certain temps, le métal et la main-d'œuvre deviennent rares, les transports deviennent difficiles et l'or, en eût-on beaucoup, ne saurait créer *ex nihilo* de l'acier pour les obus. En second lieu, surtout sur un front stable, chacun camoufle ses organisations, de sorte que le canon, la mitrailleuse elle-même doivent faire du tir sur objectif invisible, du tir indirect, du tir préparé sur la carte ! D'abord la carte !

Les brigades géodésiques se servaient, avant la guerre, de cartes au 20 000e, autour de nos places fortes, et elles établissaient un *canevas d'ensemble*, « ensemble de points géodésiques plus dense que le réseau géodésique qui avait été établi initialement pour dresser la carte elle-même » (1). Ces points,

(1) Général Bourgeois. REVUE SCIENTIFIQUE, 27 novembre 1920.

clochers, cheminées d'usines, etc. étaient reportés sur la carte au 20 000e, susceptible désormais de devenir une carte de tir, un *plan directeur*. Les termes qui précèdent expliquent le nom de « Groupe de Canevas de Tir » en abrégé G. C. T. donné à l'organisation nouvelle du Service Géographique aux Armées. Plus tard, le groupe de canevas de tir d'armée eut des éléments avancés, la Section topographique de corps d'armée et la Section topographique de division.

La besogne ne manquait pas, car, en 1914, nous n'avions pas de levés à grande échelle, ni en Champagne, ni sur la Somme, ni dans les Flandres. Il fallut d'abord faire la carte au 20 000e, qui est la carte de l'artillerie, et, par agrandissement photographique, la carte au 5000e, qui est la carte de l'infanterie.

Fort heureusement, le Service Géographique possédait, à Paris, les plans d'assemblage du cadastre, au 10 000e; ce fut le point de départ. Le système cartographique choisi fut la projection Lambert, qui convenait particulièrement à notre front. La représentation est conforme, comme disent les mathématiciens. Notons que, sur notre front français, l'erreur pour les distances était moindre que 1/2000.

L'erreur sur l'angle des lignes de visée de deux points situés à 50 kilomètres était moindre que 1 minute centésimale, 1/100 de grade.

Tout ce que contenaient nos plans cadastraux, si bien faits, fut reporté sur la carte Lambert et ces données primordiales furent complétées, dans notre zone, par les levés des brigades géodésiques et topographiques, jusqu'en première ligne — dans la zone ennemie, par la photographie aérienne (1) et aussi, bien entendu, par quelques autres moyens de guerre...

(1) Je signale deux livres sur cette question : *Métrophotographie*, par J. T. Saconney, et *Applications de la Photographie aérienne*, par L. P. Clerc. — Paris, Doin.

Car il ne s'agit pas de faire une carte de touriste, il faut un plan directeur contenant les organisations *amies* et *ennemies*. La photographie joue donc un grand rôle.

La guerre engendre une suite d'actions et de réactions, qui se développent successivement ; c'est l'éternelle lutte du projectile et de la cuirasse. Dans la guerre récente, les moyens de transport, chemins de fer, automobiles, ayant réalisé des déplacements rapides de troupes, il fallait voir au loin.

L'avion fut l'œil de l'Armée et la photographie aérienne fut le moyen de fixer mécaniquement les impressions de cet œil haut perché. On peut, d'ailleurs, photographier aussi le terrain du combat à l'aide du dirigeable, du ballon, du ballonnet, du cerf-volant. L'essentiel est maintenant, quand on possède la photographie, de bien l'utiliser.

Il est certain qu'une photographie d'un terrain et une carte de ce même terrain ont, entre elles, des relations géométriques précises, qui dépendent essentiellement, pour chaque élément plan du sol, de l'angle sous lequel il a été photographié. Pendant la guerre, on va vite et il a été reconnu que si l'on fait coïncider 3 points de repère sur la carte avec leurs 3 images sur la photographie, tout ce qui se trouve autour des 3 points est suffisamment en coïncidence. Si donc on arrive à donner l'orientation voulue à la carte, par rapport à la photographie, cette photographie devient, approximativement, une carte, dans une petite zone.

Le Groupe de Canevas de Tir faisait ce travail, appelé *restitution*, avec un appareil optique capable de rotations et de translations variées, si bien qu'on finissait par trouver l'orientation convenable du cliché par rapport à la carte.

A ce moment, il suffit de dessiner sur la carte ce que la photographie contient d'utile. Sur la photo-

graphie, l'artilleur a reconnu les positions de batteries, le fantassin a trouvé les emplacements de mitrailleuses, les trous d'obus organisés.

On cherchait les abris à munitions, les pistes et les baraquements sous bois, les tranchées, les ponts, les écluses, les réseaux de fil de fer...

Le piéton a sa trace spéciale, sur la terre, le char d'assaut a la sienne ; la terre, fraîchement remuée, donne un teint particulier à la photographie, on trouve ainsi les lignes téléphoniques et les lignes de distribution d'énergie enterrées. Le stéréoscope, donnant le relief, est d'un puissant secours. En suivant les photographies successives, en un point sensible intéressant, en contrôlant les conclusions des spécialistes par les données du règlement ennemi, qui éclaire tout, par les aveux des prisonniers, etc. on arrive à savoir quelque chose. Mais, gare ! l'ennemi camoufle tout, de mieux en mieux, le travail d'interprétation des photographies est absorbant, épuisant : méfions-nous de l'hallucination, perfide magicienne qui, pendant la guerre, rôde autour des hommes de bonne volonté...

Sur un front mobile, la photographie n'est pas moins utile que sur un front stabilisé. Elle nous renseigne sur la destruction d'un ouvrage ou d'un pont, sur les réparations entreprises par l'ennemi, sur ses barrages provisoires de sacs à terre, sur les mouvements de la troupe et du ravitaillement. Naturellement, pendant le combat, la photographie doit être développée instantanément et transformée immédiatement en un document utilisable.

Le Groupe de Canevas de Tir ne se contentait pas de dessiner et d'imprimer des cartes, d'interpréter des photographies et, par des rectificatifs fréquents, de tenir à jour le plan directeur. Il travaillait sur le terrain, pour améliorer la carte et faciliter le travail des batteries. Il était aussi l'horloger, l'opticien, le

bibliothécaire de l'armée, et les piles de tables de logarithmes et de tables de tir s'alignaient à côté des jumelles, des goniomètres, des loupes, des stéréoscopes, des boussoles, des chronomètres, des théodolites, des règles à éclimètres, etc.

Les officiers de complément de ce service étaient formés par les officiers du Service Géographique et par les Ingénieurs Hydrographes, qui avaient une longue expérience des instruments, du terrain et du calcul rapide.

Allons voir maintenant, sur place, un tentacule du Service Géographique, la Section de renseignements par observation terrestre, en abrégé S. R. O. T. Un poste central, dans la zone des batteries, reçoit, à tout instant, les indications recueillies par plusieurs observatoires très perfectionnés ; visitons l'un d'eux.

C'est en Alsace, nous suivons un chemin bordé de masques ; c'est une sorte de haie artificielle, formée de vieilles loques, de torchons multicolores, de guirlandes de feuillage, permettant aux convois de circuler avec plus de sécurité... Nous pénétrons dans un bois célèbre ; partout des trous d'obus, des abris abandonnés depuis longtemps. Il y a eu ici des drames, autrefois ; ce pauvre sol a été soumis à un martelage terrible et, actuellement, quelques rares obus s'échangent, bien haut par dessus les cimes des arbres, coups partis on ne sait d'où, car, des deux côtés, les adversaires vivent sous terre. Un sentier, où gisent, enterrés, embourbés, les rails d'un Decauville, nous conduit à l'observatoire neuf, un admirable pilône en bois, haut comme la futaie, ni plus ni moins. Au pied de chaque mât, un fagot de bois et un bidon d'essence ; s'il faut décamper, on met le feu : c'est la guerre ! Un escalier très confortable nous permet d'arriver à la cabine de l'obser-

vateur. A peine remarque-t-on, en montant, quelques égratignures ! L'observatoire n'est pas connu de l'adversaire, les mâts ont été frôlés par des obus égarés.

Nous sommes en haut : la vigie, la tête coiffée par un téléphone, épie l'horizon, regarde, à l'aide d'instruments optiques, soigneusement orientés et réglés, et signale tout mouvement, toute lueur, tout !

Nous voyons un train qui entre dans la gare de Mulhouse ; de nombreuses silhouettes de hautes cheminées caractérisent la cité industrielle, dont l'activité est surveillée.

Altkirch est à nos pieds : « Eh, mon lieutenant, les officiers boches sont bougrement bien installés ici, à Altkirch, dans ces villas coquettes, entourées de verdure ; c'est malheureux qu'on ne leur fasse pas prendre quelque chose pour leur rhume .... qu'on en mette ! .... » — « Eh, mon vieux, Altkirch doit nous revenir ; ce ne serait pas bien malin de tout casser, sans nécessité absolue ».

Assurément, il faut l'ordre, créé par la discipline, pour que certaines impatiences ne se donnent pas libre carrière. Ce poilu-observateur le sait bien, d'ailleurs, et il sait que ses comptes rendus consciencieux permettront d'envoyer les coups là où ils auront un effet utile, prévu par le commandement. Perché à 25 m. au-dessus du sol, dans sa cabane en bois que le zéphyr fait osciller, très doucement, l'esprit tendu, ce poilu porte, dans toute sa physionomie, la gravité et la sérénité du moine ! Ce soldat fait la corvée, mais il sait que la corvée est sublime, et que son cœur bat avec celui de tous les bons Français. Il ne se détend que lorsqu'il est remplacé et alors, comme il descendra vite les six étages et avec quelle joie il allumera sa cigarette !

Ces observatoires de haute précision sont distribués tout le long de la ligne du front, ligne temporaire de partage de l'influence, de la puissance : d'un côté, toute

la vie converge vers Paris, de l'autre, tout converge vers Berlin.

Dans les Livres de Géométrie, un point est bien déterminé par l'intersection de 2 lignes droites, mais nos visées ne sauraient avoir la perfection abstraite des lignes géométriques. Pour nous, un point est déterminé par 3 ou 4 droites, par les visées de 3 ou 4 observatoires. Et s'il y a eu une visée défectueuse, le Canevas de Tir le reconnaîtra facilement, par l'examen du « chapeau ». Le chapeau est ce polygone formé par les lignes de visée sur un point. Ce polygone doit être assez petit, il se réduirait à un point si toutes les visées étaient parfaites.

Comment on situera le point visé, dans le chapeau, c'est le secret des géodésiens ! Gardons-nous, surtout, de rechercher une précision plus grande que celle demandée par la batterie.

Et voilà donc une organisation de surveillance permanente, qui permet de placer sur la carte tel carrefour de routes, très fréquenté par l'ennemi, telle lueur de tir, la nuit ; instrument nécessaire pour l'observation de certains tirs ; la besogne ne manquait pas.

Les organismes savants, assurant la précision du tir, ne sont jamais inutiles, dans une guerre longue. Les canons s'usent vite ; les munitions manquent, ou bien il est difficile de les transporter. Bref, soyons économes de toutes nos ressources et, pour être économes, soyons méthodiques. Les savants sont des gens qui ont de la méthode, rien de plus ! Le Service Géographique avait, au milieu des batteries, des tentacules bien intéressants, les sections de repérage par le son, par exemple, en abrégé S. R. S.

Examinons le principe de cet art, tout nouveau (1).

(1) C'est à dessein que je ne cite aucun nom. La REVUE SCIENTIFIQUE du 25 décembre 1920 contient un article relatif à l'histoire de cette invention intéressante.

Une détonation se produit, dans le camp ennemi ; elle engendre une onde sonore, qui se déplace, à la vitesse de 340 mètres par seconde, dans les conditions atmosphériques normales. Trois postes écouteurs, que j'appelle A, B, C, notent automatiquement le passage de l'onde par un microphone dont les impressions sont transmises au service central, s'inscrivant sur une bande de papier qui marque l'heure au 1/100 de seconde. Il en résulte, par exemple, qu'il y a 1,25 sec. de différence de temps entre le passage de l'onde en A et en B. Donc la différence des distances de la pièce qui a tiré aux deux points A et B sera $340 \times 1{,}25$, en mètres.

Je conclus, d'après les propriétés des coniques, que la pièce se trouve sur une *hyperbole* connue, ayant A et B pour foyers ; je construis cette hyperbole.

De même, il y a, je suppose 1,89 sec. d'intervalle entre les passages de l'onde aux postes B et C ; j'en déduis une différence de distances de $340 \times 1{,}89$, en mètres, d'où une seconde *hyperbole* connue, ayant B et C pour foyers. La pièce allemande, qui a tiré, se trouve à l'intersection des deux hyperboles : elle est repérée.

La réalité est plus compliquée que cette explication schématique, car le vent modifie la vitesse du son et les 3 postes A, B, C, ne sont pas toujours au même niveau que le poste central.

En peu de temps, grâce au concours des savants, les appareils et les méthodes ont été mis au point, très heureusement.

Surtout, n'omettons pas de distinguer l'onde *de bouche*, émanant de la bouche du canon et l'onde *de choc*, qui est comme un sillage sonore du projectile. En chaque point de sa trajectoire, l'obus ébranle l'air, crée une onde sphérique.

Si l'oreille est placée en un point géométrique où

deux de ces ondes successives passent, au même instant, à cause de cette accumulation, l'oreille entend un claquement ; en ce point nous sommes traversés par l'onde de choc (cette question, pour le mathématicien, est une question d'enveloppes, je crois).

Les Parisiens, en 1918, entendirent ce claquement, vague bruit d'une brusque aspiration d'air, comme dans une pompe détraquée ; ils ne se doutaient guère, pour la plupart, que l'onde de choc se distingue de l'onde de bouche, que l'onde de choc existe seulement pour les trajectoires à assez grande vitesse initiale, et que tout cela a causé bien des tourments aux officiers des S. R. S.

Les uns, d'ailleurs, repéraient à l'aide de l'onde de bouche ; les autres grâce à l'onde de choc : *omnia sana sanis !*

Aux Armées, la confusion entre le bruit du « départ » réel et le bruit de l'onde de choc a parfois été désagréable. Rien n'est pénible comme l'impression qu'on pourrait être déchiqueté par la batterie amie voisine. Heureux ceux qui savent que les phénomènes du son, comme ceux de la lumière, sont trompeurs !

Retenons ce fait : le repérage au son ne peut être fait que par des spécialistes.

Quoique l'adversaire ait cherché à camoufler les sons, eux-mêmes, néanmoins le repérage du son a été fructueux.

Ce repérage avait sa réciproque : si nous avons repéré une pièce en face de nous, nous allons maintenant l'écraser et régler notre tir en comparant les données sonores des *arrivées* de nos coups avec les données des *départs* des coups de l'adversaire, réglage bien utile dans telle région boisée où l'observation aérienne et terrestre est impuissante.

J'ai assez laissé voir mon scepticisme, en général, quant à la valeur des improvisations pendant la guerre.

Il faut ici, au contraire, insister sur la nouveauté de la conception et sur la rapidité de la réalisation efficace.

Il n'est pas facile d'émettre des idées neuves ; en outre il faut obtenir la réalisation commode et, pour cela, il faut sortir du cadre des vérités abstraites. Dans un livre de Géométrie Analytique, deux droites déterminent exactement un point, quel que soit l'angle d'intersection. Pratiquement un point n'est pas déterminé par deux droites *si* elles se coupent *sous un angle assez petit :* il y aura indétermination graphique, en raison de l'épaisseur des deux traits au crayon sur l'épure. Les solutions théoriques ne sont pas toutes réalisables !

Pénétrons, un instant, dans le poste central d'une section de repérage par le son : c'est une maisonnette en pierre, ou une cabane en bois, ou un logis discrètement adossé à quelque ouvrage endommagé. En ce moment, le capitaine règle le tir d'une batterie amie sur un canon ennemi, découvert par l'onde de bouche. L'officier a, devant lui, une grande épure, où figure son repérage. Premier coup — un soldat apporte les indications de l'appareil qu'il surveille — l'officier pose son double décimètre sur son épure et trouve : 12 mètres à droite — un coup de téléphone à la batterie : 12 mètres à droite — et on recommence...

Quand c'est fini, on allume un cigare, en attendant la réponse du voisin...

Bien entendu, les divers repérages, par S. R. S., par S. R. O. T., etc., se contrôlent réciproquement.

Soyons toujours prudents, consciencieux, méfiants !

En raison des exigences impérieuses du tir de précision, le Service géographique a créé, pendant la guerre, un service de météorologie, tentacule qui doit grimper dans les airs, au lieu de ramper sur le sol.

Il faut que la batterie soit renseignée sur la température, la pression, la direction et la vitesse des vents dans les couches atmosphériques que le projectile va

traverser. J'ai peu connu l'organisation du service météorologique, de haute importance pour le canon, comme pour l'avion. Je crois savoir que ce service a résolu un problème difficile : l'étude des vents pendant la nuit.

Les tables de tir ayant été établies pour la température de 15°, par exemple, pour la pression barométrique de 760 mm., et pour une atmosphère calme, si l'on tire à la température de 9°, par exemple, il faut faire la *correction* relative à l'écart 15-9 ou 6°. De même, le vent allonge ou raccourcit la portée, augmente ou diminue la dérivation. On doit en tenir compte, si on ne veut pas tirer sur ses amis... C'est une question extrêmement complexe.

Pour certains réglages, pour le tir en pays de montagnes, notons que la table de tir doit être complétée par des trajectoires graphiques, question difficile et sujet de discussions à la « popote » des artilleurs ! L'obus sortant d'un canon rayé a deux mouvements, puisqu'il va de l'avant tout en tournant sur lui-même, comme une toupie (1). Ces mouvements se produisent dans des couches atmosphériques où la température, la densité de l'air, les courants d'air varient, d'une couche à l'autre. Phénomène complexe, de sorte que c'est une illusion, actuellement, que de regarder la Balistique comme une science mathématique ; c'est une science expérimentale.

Pour faire progresser cette science, nous avons besoin d'expériences sur la résistance de l'air, sur l'influence de l'angle de tir ; il faudrait des repérages, des photographies. Il me semble que les méthodes de calcul des trajectoires sont très satisfaisantes, mais que

(1) Cette rotation donne à l'obus de la stabilité sur la trajectoire de son centre de gravité. L'artillerie de tranchée, qui emploie le canon lisse, remplace les rayures du tube par les ailes du projectile, sorte de girouette créant une stabilité suffisante.

certaines données expérimentales sont encore incomplètes. Ce n'est, d'ailleurs, qu'une impression et je n'insiste pas (1).

Un élément très important du tir est la *vitesse initiale* de l'obus, à la sortie du tube. L'usure, l'encuivrage des rayures, les variations des qualités chimiques de la poudre, qui subit les intempéries, toutes ces causes font varier la vitesse initiale. Ces variations influent sur toute la trajectoire, sur la flèche, la portée, l'angle de chute, la vitesse restante.

Il y a là une cause de correction (2), tout aussi notable que les variations des données météorologiques, puisque, bien entendu, la table de tir est faite pour une vitesse initiale déterminée, donnée. Des chronographes ont été réalisés, peu encombrants, d'un maniement simple, qui peuvent donner, au front, la vitesse initiale d'un projectile.

Je n'ai donné qu'une impression très superficielle de choses très compliquées... En ai-je assez dit pour montrer que la guerre est difficile, qu'il faut être préparé et ne pas trop compter sur les improvisations ?

Pendant la guerre, un peuple dépense son capital en hommes, en matières, en argent, et les savants, les techniciens mettent au point la science acquise, plutôt qu'ils ne font du « neuf » ; le temps manque, et la liberté d'esprit.

La guerre : quel grave enseignement, au point de

(1) Le fait suivant me trouble. Le coefficient balistique d'un projectile est défini en fonction du projectile. Ce coefficient étant introduit dans les calculs, comparons une portée *calculée* et une portée *mesurée*. On conclut que le coefficient balistique varie légèrement avec la *vitesse initiale* et avec l'*angle de tir*. Il y a donc beaucoup d'inconnues dans le coefficient balistique. Et, à cause de la variabilité des conditions atmosphériques, l'expérimentation n'est pas plus facile que le calcul des trajectoires.

(2) Pour toutes les *corrections* à apprécier, les monogrammes de M. d'Ocagne sont extrêmement précieux.

vue technique, comme au point de vue moral ! Combien chacun laisse voir sa *valeur vraie,* dans ce remue-ménage tragique !

Et quelles inoubliables émotions, à la fin ! Ceux qui terminèrent la campagne sur le front italien virent ce qu'est une retraite désordonnée... Dans la partie supérieure du Val d'Astico, à Carbonare, de Carbonare à Caldonazzo, les champs étaient couverts de sabres, de casques, de masques, de harnachements, de fusils, de mitrailleuses, de canons abandonnés... Plus loin, de Pergine à Trento, la route était impraticable, encombrée de fourgons detelés, de cadavres de chevaux, de loques, de paperasses. En fouillant, dans la poussière, on eût découvert les documents les plus secrets du service cartographique autrichien... Les Alliés entrent enfin dans Trente, où déjà les habitants portent, à la boutonnière, ou sur la poitrine, les couleurs italiennes. Sur la « Piazza Dante », face au Nord, le bras droit levé, pour repousser définitivement les Germains, Dante est debout... En le saluant repectueusement, je lui dis, certain qu'il m'entendra : « Soyons heureux : Notre *Force,* servie par la science, était belle, parce qu'elle était au service de l'*Honneur* ».

Vte Robert d'Adhémar.

Histoire de la Sismologie

(Suite et fin)

VII. SISMOLOGIE GÉNÉRALE ET DYNAMIQUE

Le tremblement de terre consiste en un mouvement vibratoire qui n'est accessible à nos sens qu'à la surface du sol, mais ébranlant aussi toute la masse de la planète. Il doit donc être étudié suivant les principes de la mécanique des corps plus ou moins élastiques. Cette conception, pour simple et évidente qu'elle paraisse, ne s'est pourtant présentée que très tardivement, après les travaux qui édifièrent la mécanique rationnelle. Les anciens n'en ont eu qu'une notion vague, manifestée dans la classification d'Apulée.

Dès 1807, Thomas Young (1) énonçait que le tremblement de terre doit se propager au travers de la masse terrestre exactement comme le son dans l'air. Ce principe si exact resta lettre morte jusqu'au jour où Wertheim (2) proposa d'appliquer à l'étude de la propagation des ébranlements dans les corps solides l'observation de la propagation des tremblements de terre. La Terre, incomparablement plus grande que les corps dont on peut disposer dans les laboratoires, offrirait beaucoup de chances et de facilités pour arriver à la connaissance des lois de l'élasticité. Mais,

(1) Lectures on natural Philosophy. London, 1807.

(2) *Sur la propagation du mouvement dans les corps solides et liquides.* Ann. Chim. Phys. XXI, 19. Paris, 1851.

entreprise à ce point de vue trop spécial, l'étude du mouvement sismique promettait trop peu d'avantages. C'est aux frères Mallet, à Robert surtout, que revient le mérite d'avoir créé la sismologie dynamique, dans les rapports adressés par eux à l'Association britannique pour l'avancement des Sciences. Ces rapports étaient annexés aux fascicules d'un vaste catalogue de tremblements de terre que nous avons démontré n'être qu'un plagiat de ceux d'Alexis Perrey (1). Le renom de Mallet n'est pas amoindri pour n'avoir point été l'auteur d'une compilation ; à lui appartient la gloire d'avoir placé sur son véritable terrain l'étude du mouvement sismique. Sa monographie du désastre de la Basilicate du 16 décembre 1857 (2), dont il alla étudier les effets sur place, est encore maintenant le modèle de ce genre d'investigations. Les rapports fameux de Mallet constituent véritablement le premier traité de sismologie générale écrit dans les idées modernes et ils font époque. L'auteur en effet y étudie tous les problèmes de la science des tremblements de terre, autant du moins qu'on pouvait le faire alors et il en établit l'investigation sur les principes de la mécanique, sans toutefois abuser de l'analyse mathématique. En préconisant l'emploi d'appareils spéciaux pour mesurer les divers éléments du mouvement sismique, il eut aussi le mérite d'oser mesurer un phénomène qui, par sa violence et sa soudaineté, semblait alors défier tout essai de ce genre. En un mot, Robert Mallet doit être considéré comme le fondateur de la sismologie moderne.

Peu d'années après, le chevalier Stefano de Rossi fondait à Rome son BULLETINO DEL VULCANISMO ITALIANO, recueil dont le titre reflétait l'alliance des phénomènes sismiques et volcaniques. Il y développait avec maîtrise

(1) *Un point d'histoire de la sismologie.* COSMOS, LXI, n. 1432. Paris, 1912.
(2) THE FIRST PRINCIPLES OF OBSERVATIONAL SEISMOLOGY. London, 1862.

et souvent avec un grand esprit d'initiative féconde, en les rajeunissant quand ils n'étaient pas nouveaux, une foule de problèmes sismologiques. Ce fut lui qui créa pour ainsi dire la technique sismographique et, s'il ne découvrit point les microséismes, du moins il en fit progresser notablement l'étude. Quant à la nature véritablement sismique de beaucoup, sinon de tous les petits mouvements des pendules, ce fut Timoteo Bertelli (1) qui la mit définitivement hors de doute dans plusieurs mémoires publiés de 1873 à 1876.

Puis vint John Milne, nommé en 1875 professeur de géologie à l'Université alors naissante de Tokio. Frappé de la fréquence et de la violence des tremblements de terre au Japon, il en entreprit l'étude systématique. Dans ce but il fondait en 1880 la Société sismologique du Japon, dont les comptes rendus annuels furent jusqu'à 1896 remplis d'innombrables travaux dus à sa plume infatigable. Expérimentateur de premier ordre, c'est lui qui inventa l'application aux sismographes du pendule horizontal : presque tous les appareils employés de nos jours sont encore basés sur ce principe, concurremment avec celui du pendule astatique de Wiechert. Dans sa longue carrière, il renouvela toutes les questions de sismologie et en découvrit d'inédites. Bref, il a été un des principaux promoteurs de la science sismologique moderne entendue dans un sens plus large que celui de Mallet et de Rossi. Au Japon, ses successeurs, parmi lesquels il faut citer surtout Omori, dont les brillants travaux remplissent les publications du Comité impérial d'investigation des tremblements de terre, n'ont cependant pas su reconnaître tout ce qu'ils lui doivent et l'on ne peut que s'étonner de ce qu'ils ne le citent pour ainsi dire jamais. Dans un

(1) Atti della Reale Accademia dei Nuovi Lincei, II, VII, 1874 ; III, 1875 ; III, 1876.

travail historique sur la science des tremblements de terre, cette remarque était nécessaire au sujet de l'éminent sismologue trop tôt disparu.

Après John Milne, la sismologie générale a pris un développement dépassant toute prévision, les adeptes de cette science sont rapidement devenus légion dans toutes les parties du monde. Les découvertes de détail se multiplient, mais il devient malaisé d'en citer qui fassent réellement époque, toutes, ou à peu près, résultant des principes déjà posés Nous mentionnerons cependant quelques-uns des travaux plus particulièrement importants par leurs conséquences, sans que l'omission des autres signifie un amoindrissement de leur valeur, car ne pas se restreindre équivaudrait à refaire une bibliographie sismologique.

Mallet avait bien ouvert la voie aux méthodes de mesure applicables aux phénomènes sismiques, mais il n'était pas arrivé à établir une échelle des intensités. Ce fut l'œuvre commune de De Rossi et Forel (1), dont l'échelle s'est répandue si bien qu'on peut la qualifier d'officielle, surtout depuis son amélioration par Mercalli (2) en 1904. Il ne faudrait cependant pas oublier, au point de vue historique, que dès 1828 Egen (3) avait déjà proposé une échelle basée sur les mêmes principes, mais son effort était prématuré.

Les échelles de Rossi-Forel et Mercalli sont empiriques et conventionnelles ; aussi dès 1898, du moins pour les degrés supérieurs, Omori (4) proposa-t-il d'y introduire l'accélération maxima du mouvement sis-

(1) *Programma dell' observatorio ed archivo centrale geodinamico presso il Reale Comitato geologico d'Italia. Istruzioni per gli osservatori.* En français. BULL. VULCANISMO ITALIANO. X, 65. Roma, 1883.

(2) *Sulle modificazioni proposte alla scala sismica de Rossi-Forel.* BULL. SOC. SISM. ITALIANA. VIII. 184.

(3) *Ueber das Erdbeben in der Rhein und Niederländern vom 23. Februar 1828.* POGGENDORFF'S ANN. D. PH. U. CHEM. LXXXVIII, 331. LXXXIX, 153

(4) *Sur une échelle absolue d'intensite sismique.* COMITÉ IMPÉRIAL D'INVESTIGATION DES TREMBLEMENTS DE TERRE. T. XXI. 28 juillet 1898, p. 45.

mique, qui se mesure facilement sur les sismogrammes, mais son mémoire publié en japonais resta ignoré des savants européens, ce qui l'obligea à revenir (1) sur la question. Ensuite Cancani (2) étendit la méthode à tous les degrés de l'échelle.

Mais si l'accélération maxima est un élément mécanique du mouvement sismique, elle n'en représente l'intensité qu'indirectement pour ainsi dire et à Bassani revient le mérite d'avoir choisi pour caractériser cette intensité le travail, la force vive. Il le fit dans un long mémoire consacré au tremblement de terre de Florence du 18 mai 1895, et publié par parties dans les volumes XV à XIX (1895 à 1899) du BULLETIN MENSUEL DE L'OBSERVATOIRE DE MONCALIERI. Ce progrès était gros de conséquences. Il permit, en effet, à Reid (3), puis à Navarro-Neumann (4) de classer un certain nombre de grands tremblements de terre suivant leur intensité absolue exprimée en travail. Grâce à leurs tableaux combinés, on a pu constater qu'en général les tremblements de terre tectoniques ont une énergie mécanique incomparablement supérieure à celle des séismes d'origine volcanique et que ceux dits d'éboulement, pour autant qu'ils existent réellement, sont les moins énergiques. On a établi ainsi l'ordre d'importance réelle et décroissante de ces trois classes de tremblements de terre.

Dans leurs calculs, Mallet et ses successeurs considéraient le tremblement de terre comme émanant d'un

(1) *Notes on applied Seismology*. C. R. DES SÉANCES DE LA PREMIÈRE CONF. INTERN. DE SISMOLOGIE. Strasbourg, 11/18 avril 1901. 340 Leipzig, 1902.

(2) *Sur l'emploi d'une double échelle séismique des intensités, empirique et absolue*. C. R. DES SÉANCES DE LA DEUXIÈME CONFÉRENCE INTERN. DE SISMOLOGIE, 24/28 juillet 1903. 281.

(3) *The energy of earthquakes*. C. R. IVe RÉUNION, COMM. PERMAN. ASSOC. INTERN. SISMOL. MANCHESTER. 1911. Conf. XVII. 268.

(4) *Las causas de los terremotos y el trabajo que producen*. IBÉRICA. III. n. 115 Tortosa, 1916.

point géométrique, ou du moins ils le traitaient comme tel, l'analyse mathématique se prêtant mal à toute autre hypothèse. On vit bientôt que cette supposition ne pouvait se concilier avec les effets observés sur le terrain et il fallut renoncer à cette manière de voir. Le géologue Neumayr (1) fut le premier, croyons-nous, à la condamner définitivement. On aurait pu le faire depuis longtemps, puisque dès 1872 Whitney (2) avait observé la simultanéité de l'ébranlement sismique sur de vastes étendues. La nouvelle conception du séisme se produisant en même temps dans de grandes régions a eu les plus heureuses répercussions sur le développement de la géologie sismologique. Car c'est à la nature même du phénomène qu'était dû le constant insuccès des méthodes mathématiques inventées pour calculer la profondeur du foyer d'un tremblement de terre dans l'intérieur des couches terrestres, c'est-à-dire de son hypocentre. On peut maintenant citer des traités de sismologie générale basés tout entiers sur le nouveau principe qui restitue à la géologie ses droits légitimes, si longtemps dévolus à la météorologie, à prédominer dans la science des tremblements de terre.

On pense généralement aujourd'hui que l'étude d'un phénomène a atteint tout son développement, lorsqu'on est parvenu à le soumettre à l'analyse mathématique. A notre modeste avis, ce fut ouvrir une voie décevante que d'introduire l'analyse mathématique dans la recherche des causes profondes des tremblements de terre. En effet, la masse terrestre une fois ébranlée par un phénomène quelconque, sismique ou non, vibre de la même façon dans tous les cas. Quel qu'ait été le choc initial, les vibrations sont en effet toujours les mêmes. On ne peut donc rien déduire des vibrations

(1) *Erdgeschichte.*, I. Leipzig, 1886.

(2) *On the earthquake of 1872, March 26; Owen's lake valley; California.* OVERLAND MONTHLY. IX. 271.

sur la nature intime du tremblement de terre pris en lui-même et à son foyer. Cette réserve faite à tort ou à raison, il n'en faut pas moins reconnaître que la sismologie mathématique est une branche de la géophysique dont les progrès ont été considérables en ces dernières années.

Devant faire un choix restreint parmi la phalange des savants qui ont vu dans les tremblements de terre surtout un prétexte à beaux calculs d'analyse, on devra retenir quelques-uns des travaux de Rudzki (1), de Kövesligethy (2), et du Prince Boris Galitzine (3).

La sismologie mathématique pose deux problèmes principaux : la solution de l'un dépend de celle de l'autre et inversement. Ce sont : la distinction entre les diverses ondes élastiques nées d'un tremblement de terre, et leur propagation soit à la surface du globe, soit à l'intérieur de la masse terrestre et, dans ce cas, la forme du chemin parcouru. Cette dernière recherche s'imposait depuis que les observations de Milne lui avaient suggéré qu'un tremblement de terre met en état de vibration toute la masse de terre, et que von Reuber-Paschwitz (4) avait confirmé expérimentalement cette supposition. Agamennone s'était consacré avec le plus grand zèle, dans un grand nombre de mémoires, à la détermination des vitesses de propagation : mais, vu l'imperfection des observations à sa portée, il ne pouvait arriver à la précision qu'atteignit

(1) *Studie an der Theorie der Erdbeben. Ueber die scheinbare Geschwindigkeit der Verbreitung der Erdbeben. Von der Gestalt elastischer Wellen in Gesteinen.* BEITRÄGE ZUR GEOPHYSIK. III. 495. Leipzig. 1898. *Ueber ein der optischen Dispersion analoges Phänomen.* IBID. IV. 47. 1899.

(2) *In honorem I Consensus Associationem internationalem seismologicam procurantium Romam convocati scripsit.* BOLL. SOC. SISMOL. ITALIANA. XI. 113. 1899.

(3) *Leçons de sismométrie.* St Pétersbourg. 1912.

(4) *Horizontalpendel Beobachtungen auf d. K. Univ. Sternwarte zu Strassburg i. E. 1892-1897.* BEITRÄGE ZUR GEOPHYSIK. II. 211. Stuttgart. 1895.

Dutton (1) en 1890, quand, le premier, il fournit pour cette vitesse de propagation des valeurs voisines de celles obtenues plus tard au moyen des sismographes. Pour l'étude du même problème, von Seebach avait longtemps auparavant inventé l'hodographe (2) qui a rendu de grands services avant que soient répandues les méthodes plus récentes.

Quant à la distinction des diverses phases de sismogrammes, ou, ce qui revient au même, à celle des diverses ondes développées par un tremblement de terre, c'est surtout à Omori (3) qu'il faut en attribuer la découverte. Dès lors on reconnaît que le séisme développe à la surface terrestre et dans la masse de la planète trois sortes d'ondes, ou de vibrations. Celles-ci étaient prévues par la théorie mathématique de l'élasticité, mais ce fut seulement en 1904 que Lamb (4) parvint à les déduire d'une analyse unique, en faisant, il est vrai, des hypothèses de base peu acceptées des sismologues.

Un des plus brillants résultats obtenus par l'étude des vitesses de propagation des ondes sismiques au travers du globe terrestre a été la constatation suivante faite tout d'abord par Milne (5). A une certaine profondeur au-dessous de la surface terrestre, il doit exister une couche particulière, que Milne désigne du nom de Géite, des deux côtés de laquelle la loi des densités des couches et de leurs propriétés élas-

(1) *The Charleston earthquake of August 31st 1886.* Unit. St. geol. Survey. Ninth. Rep. Washington, 1890.

(2) *Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872.* Leipzig, 1873.

(3) *Horizontal Pendulum Observations of Earthquakes*, July to December 1899. Tokyo. Publ. imp. Earthq. Invest. Comm. frin oeign Lang. 1909. n. V.. Id., Hitotsubashi... Id... 1903. n. XIII.

(4) *On the propagation of tremors over the surface of an elastic solid.* Phil. Trans. R. Soc. of London. Ser. A. CCIII. 1904.

(5) *The speed of earth quake motion and inferences based thereon relating to the interior of the world.* Eighth. rep. seismol. Invest. Brit. Ass. adv^t of sc. 1903.

tiques change brusquement. Cette déduction a été généralement acceptée, mais beaucoup de savants, comme Wiechert, Làska, Benndorff et d'autres encore, diffèrent quant à la profondeur de la couche ; on ausculte, a-t-on pu dire très à propos, l'intérieur de la terre. Par l'étude des sismogrammes, les choses se passent comme si le noyau central, au lieu d'être fluide, possédait une rigidité à peu près deux fois et demie plus grande que l'acier le plus dur (1). Cette rigidité, ou cet état dit hypersolide du noyau n'empêche point cependant l'écorce terrestre d'avoir ses marées lunisolaires. O. Hecker (2) en fit la découverte en les observant directement au moyen de sismographes. Ces marées solides, pour s'exprimer ainsi, ne doivent pas être confondues avec les marées hypothétiques du noyau interne supposé fluide qu'invoquait Perrey comme cause des tremblements de terre.

Quant au chemin parcouru par les ondes sismiques au travers du globe terrestre, il faut reconnaître qu'il reste encore bien mal connu.

Malgré notre scepticisme quant à la possibilité de découvrir les causes premières des tremblements de terre par la sismologie mathématique, nous devons donc rendre justice à l'importance de ses découvertes dans le domaine de la géophysique.

Exposons maintenant les recherches auxquelles ont donné lieu à notre époque des phénomènes sismiques secondaires que les anciens ignoraient, tels les bronditis, ou dont ils n'avaient que des connaissances vagues et rudimentaires, tels les tremblements de terre sous-marins et les marémotos, ou tsunamis, d'une part, et les répliques d'autre part.

(1) Wiechert, *Ueber die Massenvertheilung der Innern der Erde*. Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Math. phys. Cl. 1897. 221.

(2) *Beobachtungen an Horizontalpendeln ueber die Deformation des Erdkörpers unter dem Einfluss von Sonne und Mond*. Veroff. d. K. preuss. Geodäst. Inst. zu Potsdam. N. F. n. XXVII. Berlin, 1907. Et d'autres mémoires.

Avec Van den Broek (1), on a reconnu dans certains bruits mystérieux appelés Mistpoeffers dans la région de la mer du Nord, et en général Bronditis, un phénomène d'origine sismique. Ce sont des tremblements de terre avortés, c'est-à-dire réduits au bruit appelé retumbo. Depuis, les bronditis ont été observés en maints pays et leur étude systématique a provoqué de nombreux travaux estimables, peut-être surtout en Italie.

Dès 1838, l'ingénieur hydrographe Daussy (2) avait, par une patiente recherche dans les journaux de bord et les relations de voyages maritimes, montré que dans l'Atlantique subtropical existait une région fréquemment ébranlée par des secousses sous-marines. Dès lors les découvertes se précipitent dans ce nouveau champ de recherches fécondes.

Les premières études entreprises sur la propagation des ébranlements produits dans les eaux de l'océan par les séismes sous-marins ou terrestres, et enregistrés par les marégraphes, ont été dues à Bache (3) à l'occasion du formidable marémoto déchaîné au Japon par le tremblement de terre de Simoda. Ces observations confirmèrent la formule par laquelle l'astronome Airy (4) avait mis en relation la profondeur moyenne d'un océan et la vitesse de propagation de ses marées, et fournirent ainsi le moyen de calculer indirectement cette profondeur. Ce point de vue a encore été mieux développé par Von Hochstetter (5), à propos du grand

(1) *Les* Mistpoeffers, *détonations mystérieuses de la Mer du Nord et des régions terrestres circonvoisines, et les* Barrizal-Guns *du Delta du Gange.* Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol. IX. 1895.

(2) *Note sur l'existence probable d'un volcan sous-marin situé par environ 0°20' Lat. S. et 22° Long. O.* O. C. R. Ac. Sc. Paris. VI. 1838. 512.

(3) *Notice of eartquake waves on the western coast of the United States, on the 23rd and 25th of December 1854.* American Jl. Sc., 2nd S. XXI. 1856.

(4) Tides and waves. London, 1847.

(5) Sitzungsber. d. k. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Math.-phys. Bd. LVIII. 837. 1868. LIX. 109. 1869.

marémoto produit par le tremblement de terre chilénopéruvien du 13 août 1868. Dès cette époque, l'attention des sismologues fut vivement attirée sur ces phénomènes, surtout après l'éruption du Krakatoa en 1883. Les séismes se révélaient alors capables non seulement d'agiter la masse entière des océans, mais encore de faire deux fois le tour du globe.

L'étude systématique des tremblements de terre sous-marins et des marémotos et leur répartition géographique ont été grandement développées par Rudolph (1). Il en a établi la théorie et réalisé, dans ce domaine, l'œuvre d'Alexis Perrey pour les tremblements de terre d'origine terrestre. Il ne nous reste plus à signaler que Hobbs (2), faisant rentrer les phénomènes sismiques sous-marins dans le cadre de la géologie générale et Giovanni Platania (3), établissant un rapport entre les vagues sismiques et les seiches des lacs.

Les grands tremblements de terre sont normalement suivis de nombreuses secousses pendant des périodes parfois très longues. On le savait depuis longtemps. Les anciens chroniqueurs croyaient, à la suite de Pline, qu'elles duraient le temps mystique de quarante jours. Ce sont les répliques dont la marche représente le rétablissement de l'équilibre terrestre après la commotion principale. Leur étude a donc la plus grande importance et Omori (4) en a presque fait son domaine propre depuis 1894, date à laquelle il a établi l'équation portant son nom. En partant de cette équation, d'ail-

(1) *Ueber submarine Erdbeben und Eruptionen.* BEITRÄGE ZUR GEOPHYSIK. I. 1887. 133. II. 1895. 537. II. 1898. 272. Stuttgart ; Leipzig.

(2) *Origin of Oceans Basins in the Light of the new Seismology.* BULL. GEOL. SOC. AMERICA. XVIII. 233. Vew-York, June 1907.

(3) *Il maremoto dello stretto di Messina del 28 dicembre 1908.* BOL. SOC. SISM. ITALIANA. XIII. 369. Modena, 1908-1909.

(4) *On the aftershocks of earthquakes.* JL. COLL. SCIENCE IMP. UNIV. TOKIO. VII. Part II. 1894.

leurs moins générale que ne le croyait Omori, et aussi de la marche encore inconnue des secousses prémonitoires, si tant est qu'il y en ait, Kövesligéthy (1) a pu indiquer le seul procédé rationnel dans l'état actuel de la sismologie pour la prévision des tremblements de terre, mais ce procédé est purement théorique et pratiquement inapplicable.

Ainsi, à notre époque, la sismologie est devenue une vaste science ayant ses méthodes et ses observatoires particuliers répandus sur toute la surface du globe ; elle s'est rendue autonome, autant du moins qu'une science peut l'être, et n'est plus réduite à se traîner à la remorque d'une autre branche des connaissances humaines, comme ce fut si longtemps le cas lorsqu'elle était une humble annexe de la météorologie. Nous allons voir comment elle est devenue un important chapitre d'une science beaucoup plus générale, la Géologie.

VIII. SISMOLOGIE GÉOLOGIQUE

La théorie géologique des tremblements de terre ne périra point, car elle est uniquement basée sur l'observation. Elle se divise naturellement en deux parties suivant que l'on étudie les changements du relief terrestre qui se produisent lors des grands tremblements de terre, ou que l'on cherche la relation de cause à effet possible entre les modifications accompagnant les commotions sismiques et des phénomènes géologiques plus généraux. Les anciens écrivains se préoccupaient uniquement de la première série de faits ; ils les considéraient comme des conséquenees des séismes, tandis que la sismologie moderne pense exactement l'inverse. Le second point de vue, celui qui donne lieu

(1) *Sur la possibilité de la prévision des tremblements de terre.* Bol. Soc. sismol. italiana. XIV. 116. Modena, 1906.

à la théorie tectonique ou orogénique, résulte des observations les plus récentes et ne pouvait éclore qu'après la constitution même de la géologie.

Dès que l'homme primitif se fut mis à observer, il s'est aperçu que les grands tremblements de terre crevassent et fendent le sol, parfois sur de très grandes étendues. Il a pu lui arriver d'être englouti dans ces accidents avec ses huttes et ses animaux domestiques. Ailleurs il aura vu des surfaces plus ou moins vastes s'effondrer sous les eaux. Il a donc identifié ces perturbations de relief avec les tremblements de terre et cette déduction de l'homme primitif, nous la retrouvons chez les anciens écrivains, sous la forme d'une espèce particulière de séismes, les *Chasmatiæ* ou les *Hiatus* des philosophes de culture grecque ou latine respectivement. Cette conception d'ordre scientifique avait été précédée par l'interprétation mythologique, par exemple, par la célèbre fable de l'engloutissement d'Amphiaraüs ; à la vérité, Homère (1) nous le raconte sans tremblement de terre, tandis que Pindare (2) (520 à 428 av. J.-C.) mentionne l'ébranlement du sol, élément primordial du mythe. Bien plus tard, à la fin du premier siècle de notre ère, Stace (3) décrira ce mythe avec une parfaite précision.

Les engloutissements par ouverture du sol aux grands tremblements de terre, ou l'éboulement des pentes de montagnes secouées par les commotions telluriques, forment un cycle presque indéfini de mythes, de légendes et de contes qui, traversant les siècles, constituent par conséquent un stade important de la sismologie historique, mais sur lequel nous n'avons pas à nous étendre ici. Nous nous contentons de rappeler un thème de grande importance dans les traditions

(1) *Odyssée*. XV. 245.
(2) *Les Néméennes*. Ode IX.
(3) *La Thébaïde*. Li. VII, v. 61-96.

populaires : les tremblements de terre ouvrent le sol soit pour faciliter, soit pour empêcher la recherche des trésors cachés, ou des mines d'or.

L'aspect mythologique des effets des grands tremblements de terre sur le relief n'a pas disparu promptement chez les auteurs de l'antiquité classique. Ainsi au milieu du ve siècle avant notre ère, Hérodote (1), tout en décrivant avec une exactitude vraiment scientifique l'ouverture par séisme de la vallée de Tempé entre l'Olympe et l'Ossa, et le desséchement de la plaine thessalienne qui en fut la conséquence, événements dont l'homme a été le témoin, conserve néanmoins l'intervention mythologique de Neptune, que rejetait Athénée (2) à la fin du deuxième siècle de notre ère. Mais un siècle et demi plus tôt, Diodore de Sicile (3) parlait encore de Neptune, à propos de l'engloutissement d'Hélicé en Achaïe sous les eaux du golfe de Corinthe, par le tremblement de terre de l'an 373 av. J.-C., événement dont la sismologie moderne a pu confirmer l'authenticité.

Strabon, Sénèque et Pline se sont attachés à énumérer les grandes perturbations de relief ayant accompagné de violents tremblements de terre, mais parmi elles surtout les ouvertures de détroits, les émersions ou les immersions d'îles ou de terres, et, si nous en croyons le premier de ces écrivains (4), ce serait Posidonius qui aurait inauguré cette phase de la géologie sismologique ; mais tous ces anciens auteurs ont pris l'effet pour la cause. N'importe, tel fut l'humble début d'une branche de la sismologie qui était destinée à prendre de nos jours un magnifique essor.

Les innombrables chroniqueurs du moyen âge étaient

(1) Li. VII. *Polymnie*. Ch. CXXIX
(2) *Le banquet des savants*. Li. XIV. Ch. X.
(3) *Histoires*. Li. XV. 48-49.
(4) Li. I. Ch. III.

trop imbus de merveilleux pour ne pas abandonner le point de vue scientifique des auteurs mentionnés tout à l'heure ; ils n'ont vu dans les effets des tremblements de terre sur le terrain que des prodiges et les ont travestis de grossière façon. Nous n'insisterons pas sur les transports de montagnes, de villes et de châteaux, les sources et les fleuves de sang et autres fantaisies semblables.

Après une longue éclipse, les observations de Strabon et de ses successeurs ont donné lieu aux théories sismicogéologiques modernes qui affirment le contrepied de la phrase lapidaire de Sénèque (1) parlant du tremblement de terre : « *Mille miracula movet, faciemque mutat locis, et defert montes, subrigit plana, valles extuberat, novas in profundo insulas erigit* ».

Les anciens et leurs successeurs n'avaient guère observé que des perturbations de relief d'un caractère très local, mais le problème s'est trouvé tout d'un coup immensément agrandi lorsqu'en 1688 Robert Hooke, dans une lettre à la Société royale de Londres, publiée seulement en 1705 dans l'édition posthume de ses œuvres par Richard Waller, affirmait que les grands changements de la surface terrestre, surrections de chaînes de montagnes, creusement des océans, affaissement des continents, émersions ou immersions de grandes étendues de terre, étaient aussi des effets des tremblements de terre. C'est à tort, croyons-nous, que le mérite de cette assertion, d'ailleurs fausse quant au sens de la dépendance de l'effet à la cause, a été attribué à Sténon, le célèbre inventeur de la stratigraphie, par Hobbs dans son prologue à l'édition du mémoire du savant médecin italien (2), publié en 1916 par

(1) *Questions naturelles*. Li. VI. Ch. IV.

(2) *De solido intra solidum naturaliter contento Dissertationis Prodromus*. Florentiae, 1669.

l'Université d'Ann-Arbor, Michigan. Les termes de Sténon sont, à notre avis, trop vagues pour lui faire attribuer la paternité de cette théorie.

La dépendance entre les tremblements de terre et les surrections de montagnes était une idée prématurée dans l'état de la géologie à cette époque ; aussi tomba-t-elle dans l'oubli. Un siècle et demi plus tard, de la Bèche (1) y revint pour montrer que les tremblements de terre étaient une cause infiniment trop faible pour produire un effet de cette grandeur. L'objection paraissait alors si bien justifiée que de Humboldt, dans son *Cosmos*, passa sous silence la théorie de Hooke. Lyell fit de même, tout en exposant avec la maîtrise que l'on sait, dans ses fameux *Principles of Geology* (1846), le rôle glyptogénique si important des grands tremblements de terre connus de son temps.

A l'encontre des idées de Hooke, Boussingault (2) attribue les tremblements de terre non plus à la surrection des chaînes de montagnes, mais à leur abaissement par suite du tassement des roches soulevées et à des éboulements dans l'intérieur de la masse des Cordillères; c'était revenir bien en arrière. Il faut arriver à Suess pour rencontrer enfin, dans ses deux plus fameux ouvrages, *Die Entstehung der Alpen* et *Das Antlitz der Erde*, la claire compréhension du problème orogénicosismogénique. Toutefois Forel (3) nous semble avoir été le premier à parler nommément de tremblements de terre orogéniques.

Mais Suess n'avait envisagé la question qu'en certains cas particuliers et il restait à étendre la théorie

(1) MANUEL DE GÉOLOGIE. Traduction française revue et publiée par Brochand de Villiers. Paris, 1839. *Tremblements de terre*, p. 159.

(2) *Sur les tremblements de terre des Andes*. BULL. SOC. GÉOL. DE FRANCE. VI. 14 sept. 1834.

(3) *Les Tremblements de terre orogéniques en Suisse*. L'ASTRONOMIE. II. 1883. 449. III. 1884. 15, Paris.

à toute la surface de la terre, si du moins les vues de l'illustre géologue pouvaient s'y vérifier partout. Il fallait donc confronter les phénomènes géologiques les plus généraux de la formation du relief terrestre, soit positif, soit négatif, avec la répartition géographique des régions à tremblements de terre. Seul l'établissement d'une géographie sismologique permettrait cette étude. De 1890 à 1906 on put édifier cette œuvre de longue haleine, grâce aux catalogues sismiques. Parmi ces catalogues il faut mentionner la longue série de ceux qu'avait élaborés avec une admirable patience Alexis Perrey, soit pour des pays particuliers, soit annuellement, de 1846 à 1872. Ce sismologue avait, il est vrai, un but tout différent, il voulait démontrer que les tremblements de terre dépendent des phases et des divers éléments des mouvements de la lune ; d'après lui, ils manifesteraient les marées lunisolaires du noyau interne supposé fluide. Partant d'un point de vue presque astrologique, Perrey n'en a pas moins rendu l'immense service de faciliter l'établissement d'une géographie sismologique, base d'une future géologie sismologique.

Grâce à ces fondations expérimentales solides, on vit de suite que les tremblements de terre accompagnent partout les grandes lignes de corrugation de l'écorce terrestre, tant saillantes que creuses, c'est-à-dire les lignes de haut relief, et les profondes fosses océaniques, véritables chaînes de montagnes en relief négatif, pourrait-on dire. On observa en même temps que la sismicité, c'est-à-dire la fréquence et l'intensité des secousses, dans un pays donné, va de pair avec la raideur des pentes (1), et plus généralement avec le relief absolu compté à partir du fond des mers. On put mettre aussi la sismicité en relation avec l'âge géolo-

(1) Milne dans plusieurs mémoires.

gique des chaînes de montagnes et reconnaître que si elle est toujours grande pour les régions montagneuses de structure plissée, elle est, au contraire, faible ou nulle pour les régions plates de formation tabulaire.

Une fois établis ces résultats généraux indépendants de toute hypothèse, parce que tirés d'observations non interprétées, s'est dégagée une liaison intime entre la sismicité d'une région d'une part, et la formation de son relief, ou ses vicissitudes géologiques, d'autre part. Désormais, au lieu de dire que les tremblements de terre perturbent le relief terrestre, on se contentera d'énoncer qu'ils manifestent les efforts géologiques mêmes par lesquels a été sculpté ce relief. Ici la part des vues de l'esprit est vraiment réduite au minimum. D'une façon plus générale encore, on a donc mis les phénomènes sismiques en relation avec ceux de plissement, en comprenant ce mot dans toute son ampleur, et, par conséquent, avec le refroidissement séculaire de la planète. C'est ce qu'a très bien montré de Lapparent dans son *Traité de géologie* et plusieurs autres travaux.

De cette manière a pris naissance toute une sismologie géologique, appelée aussi orogénique, ou tectonique, suivant qu'on a en vue le rattachement des séismes aux efforts de surrection ou aux causes qui modifient l'architecture des couches terrestres. De nombreuses monographies de tremblements de terre consacrent maintenant de longues pages à ces considérations. On a été souvent conduit à affirmer, non sans vraisemblance, qu'un séisme manifeste une surrection encore en cours ; mais peut-être serait-il plus prudent de dire que la surrection est encore en puissance, à l'état latent, d'où l'existence d'un potentiel sismique. Une autre manière d'énoncer ce principe consiste à dire que les commotions terrestres représentent une phase posthume des efforts orogéniques. Quoi qu'il en soit, les découvertes de détail sont nombreuses : coulissage d'un

compartiment de surface terrestre le long d'une faille ouverte ou rajeunie par un tremblement de terre ; basculement autour d'une perpendiculaire à cette faille ; mouvements de blocs terrestres entre leurs failles limites ; affaissements plus ou moins étendus, et plus spécialement de fonds de grabens ; tremblements de terre fossiles décelés par les *Sandstone-pipes* ou *craterlets* pétrifiés ; changements temporaires ou permanents de paysages, que font constater les retriangulations géodésiques ; caractères spéciaux d'une topographie sismique, celle des pays où des tremblements de terre plus ou moins anciens sont reconnaissables par leurs effets non encore effacés sur le terrain par l'érosion et la dénudation ; etc.

Tous ces travaux, pour intéressants qu'ils soient, ne constituent une étape que par leur ensemble et, les protagonistes de cette branche de la sismologie ayant été mentionnés, il serait inopportun d'en présenter une bibliographie étendue. Nous nous contenterons de citer deux mémoires de Hobbs (1), malgré l'abus qu'a fait l'éminent géologue des lignes tectonicosismiques. Ajoutons l'admirable monographie du tremblement de terre du 18 avril 1906 en Californie que distingue une profusion de photographies des effets sur le terrain.

Mais si l'on a ramené le problème sismologique à un problème géologique plus général, ce qui constitue déjà un progrès considérable, on n'a guère encore pénétré le mécanisme de l'enchaînement mutuel des phénomènes sismiques et géologiques. Il faut pourtant mentionner ici la théorie dite élastique. Elle consiste à supposer que les efforts géologiques de plissement, pris dans leur sens le plus large, s'accumulent plus ou moins lentement au sein des couches terrestres et

(1) *On some principles of seismic geology*. Beiträge zur Geophysik. VIII. 1907. 219. *The geotectonic and geodynamic aspects of Calabria and northwestern Sicily*. Ibid. 293.

finissent par faire pour ainsi dire explosion sous forme de tremblement de terre, lorsqu'ils arrivent à dépasser les limites d'élasticité de ces couches et à rompre de la sorte leur équilibre. Cette théorie, claire autant que plausible, a été surtout développée par Harry Fielding Reid dans plusieurs mémoires ; nous ne citerons que sa lecture à la réunion de l'Association internationale de sismologie en 1911 à Manchester. Il restait cependant à démontrer par l'observation l'existence des efforts de tension et de compression que supposent les vues de Reid. On y est arrivé par deux voies différentes.

Déjà les sismologues japonais, par exemple Kusakabé (1), se préoccupant de la propagation du mouvement sismique, avaient reconnu l'influence des modules d'élasticité des roches sur cette propagation. Mais ce n'est là qu'un argument bien faible en faveur de la théorie élastique.

Depuis longtemps on connaissait les phénomènes qu'on a pris l'habitude d'appeler stratoclase, c'est-à-dire rupture des strates. Ils consistent en ce que dans les galeries des mines on entend fréquemment des bruits singuliers, suggérant le craquement et la rupture des roches. Souvent les parois des galeries se courbent, les boisages d'étai se brisent et les roches éclatent littéralement en lançant des éclats capables de blesser et même de tuer des ouvriers. Parfois un léger tremblement de terre se fait sentir à peu de distance à la surface. Ensuite tout rentre dans l'ordre pour un temps plus ou moins long. Le percement des galeries ayant perturbé l'agencement mutuel des couches pressées les unes contre les autres, évidemment le retour à l'équi-

(1) *On the modulus of rigidity on rocks and an explanation for the wide difference between the velocities of propagation of the tremors and principal shocks in seismic waves.* PUBL. EARTHQUAKE INVEST. COMM. IN FOR. LANG. n. 14. Tokio, 1903.

libre ne se rétablit qu'après une action violente déclanchée lorsque les efforts de tension et de compression ont dépassé la limite d'élasticité des roches. Et il y a un parallélisme parfait entre ce processus et le calme plus ou moins prolongé succédant à un tremblement de terre, du moins après l'extinction de ses répliques. L'accumulation progressive des efforts tectoniques, venant de nouveau à dépasser les limites d'élasticité des couches terrestres, il faut de toute nécessité que ces efforts se résolvent par une nouvelle commotion. En réunissant systématiquement les phénomènes de stratoclase, Rzehak (1) a rendu un grand service à la théorie tectonique des tremblements de terre, car il a démontré l'existence réelle des tensions et des compressions nécessaires à la théorie de Reid. La confirmation pour ainsi dire expérimentale qu'il apportait aux vues théoriques de Reid, était une étape fondamentale de la théorie tectonique. Le mémoire de Rzehak n'avait pourtant point attiré l'attention qu'il méritait et sa prétention d'avoir surpris en flagrant délit le *Démon des tremblements de terre*, n'avait guère passé que pour une fleur de rhétorique. Si Hœrnes (2) a étendu les recherches de Rzehak, ce fut Suess qui, dans un mémoire presque posthume (3), a su mettre en évidence le rôle considérable de ces phénomènes dans la sismologie orogénique.

Au point de vue historique, l'expression de « Démon des tremblements de terre » nous invite à un retour en arrière. Depuis qu'à une époque relativement récente, les galeries de mines ont été poussées en profondeur, les mineurs de tous les pays, surtout peut-être en

(1) *Bergschläge und verwandte Erscheinungen.* Zeitschr. f. prakt. Geol. XIV. 345. Brunn, 1906.

(2) Même titre. *Die Erdbebenwarte.* VI. 1. Laibach, 1907.

(3) *Ueber Zerlegung der gebirgsbildenden Kraft.* Mitth. d. geol. Ges. Wien, I. 13. 1913.

Allemagne, se sont forgé un folklore spécial : ils attribuaient les ruptures de roches, nos phénomènes actuels de stratoclase, à des êtres surnaturels, nains, lutins, gnomes, kobolds, petits mineurs, etc. Ils croyaient les entendre, et même parfois les voir frapper de leurs outils les roches métallifères pour diriger leurs travaux dans la voie des riches filons, ou les en détourner. Ce folklore curieux est très répandu, mais ne saurait être développé ici. Il montre une fois de plus comment les croyances populaires les plus fantastiques ont précédé nos conceptions sismologiques modernes. Ces croyances ont régné jusqu'à nos jours, et l'on a vu un esprit comme celui d'Athanase Kircher (1), dont on ne saurait méconnaître la science et le talent, ajoutant foi à ces billevesées. Il n'y croyait, à vrai dire, que pour les mines d'or.

On avait dès longtemps reconnu que les tremblements de terre peuvent fendre les roches et on en avait justement tiré cette conclusion que les filons se remplissaient indirectement à cause des commotions terrestres, mais on était allé jusqu'à l'absurde en attribuant aux séismes la génération des métaux (2) et beaucoup d'écrivains (3) ont pensé que la présence de gîtes métallifères favorise la production des tremblements de terre et, par conséquent, des tempêtes.

Malgré les immenses progrès réalisés en ces dernières années dans le domaine de la géologie sismologique, il reste encore beaucoup à faire. En effet, on ne sait pas encore pourquoi les phénomènes de stratoclase se produisent partout, tandis que ce n'est pas le cas

(1) MUNDUS SUBTERRANEUS. II. Sect. IV. Cap. IV. De Demonibus subterraneis. p. 122. Amstelodami, 1678.

(2) Lemonosoff, *De generatione metallorum a terræmotu.* Petropolis, sans date.

(3) Jorje Juan y Antonio de Ulloa, *Relacion historica del viaje á la América meridional... con otras varias observaciones astronomicas y physicas.* II. n. 825. Madrid, 1748.

pour les tremblements de terre. Il faudrait aussi démêler comment les régions instables se présentent par rapport au sens des poussées tangentielles qui produisent les chevauchements, les charriages et les plissements. Se trouvent-elles du côté de leur point de départ ou d'arrivée ; forment-elles ce qu'on appelle un arrière-pays ou un avant-pays ? On ne sait. Des problèmes nouveaux ne manqueront pas de se présenter. On doit dire néanmoins que cette branche de la science des tremblements de terre attaque la recherche de leurs causes bien plus étroitement que la sismologie mathématique.

IX. CONSTRUCTIONS ANTISISMIQUES

L'art de bâtir de façon à éviter les dommages causés par les tremblements de terre n'a pris son entier développement et n'a été étudié scientifiquement dans tous les détails qu'à la fin du XIXe siècle. Les documents laissés par l'antiquité sur cette importante question sont très rares, et cela seul semble bien démontrer que les anciens s'en préoccupaient fort peu.

Leur négligence nous paraît avoir eu deux causes principales. Les Grecs et les Romains, ces derniers surtout, ont été de si remarquables constructeurs ; leurs admirables monuments se sont conservés jusqu'à nos jours, exposés de longs siècles à toutes les causes de destruction, tremblements de terre, intempéries, déprédations des envahisseurs, de barbares, troubles politiques et religieux, le temps lui-même enfin. Or la sismologie moderne a démontré péremptoirement qu'un édifice construit suivant toutes les règles de l'architecture, augmentées de quelques rares prescriptions particulières, relatives aux matériaux comme à la structure, n'a presque rien à craindre du mouvement sismique. C'est pourquoi les grands monuments grecs et romains n'ont jamais souffert beaucoup,

sinon les constructions des temps de la décadence, à partir du IIIe siècle. En fait, avant cette époque les auteurs sont à peu près muets sur des ruines de temples ou de palais. Les grands édifices souffrant peu des commotions terrestres, peu importait, dans ces républiques très aristocratiques, que les habitations du peuple fussent détruites. Aussi les rares œuvres qui nous sont restées des constructeurs du temps, Vitruve (Ier siècle av. J.-C.) et Frontin (Ier siècle ap. J.-C.) ne renferment-elles aucune indication à cet égard, comme si pour eux le problème n'eût pas existé. A ce premier motif de l'absence de précautions contre les séismes chez les anciens on est en droit d'en ajouter d'autres. Qu'on lise par exemple l'éloquent passage de Sénèque, au début de son étude sur les tremblements de terre, on sera frappé du fatalisme résigné avec lequel le philosophe parle du danger sismique. A quoi bon s'en préoccuper si un inéluctable *fatum* déterminait les désastres. D'ailleurs les murailles bâties avec le fameux ciment dit romain, ou à la pouzzolane, étaient quasi indestructibles ; les maçons de Rome au moyen âge attribuaient même à cette matière des propriétés miraculeuses.

Les anciens n'auraient-ils jamais pris aucune précaution constructive contre les tremblements de terre? Sans exagération on ne peut le prétendre. Nous allons signaler à cet égard quelques faits peu connus.

Le plus ancien texte conservé, est un passage de l'Ecclésiastique (1). Son auteur, Jésus ben Sirach, écrivant en 277 av. J.-C. environ, dans le tableau moral où il oppose la prudence de l'homme sage à l'imprévoyance de l'insensé, écrit d'après la version des Septante : « La charpente bien unie d'un édifice ne sera pas disjointe par un tremblement de terre ».

(1) Ch. XXII, 14.

Presque immédiatement après dans un verset curieux il rappelle la nécessité de ne pas épargner la chaux et les autres matériaux dans les fondations des édifices exposés au vent et bâtis sur des hauteurs. Or c'est seulement après le tremblement de terre du 18 avril 1906 à San Francisco, que les ingénieurs et les architectes californiens ont énoncé ce principe de constructions antisismiques : un édifice calculé pour résister au vent, résistera aussi au mouvement sismique. Si le texte biblique n'est probablement qu'une comparaison, il n'en est pas moins intéressant ; les Hébreux connaissaient donc l'avantage de construire, dans les régions instables comme la leur, des habitations sous forme de baraques à charpentes bien assemblées : Le principe n'en a été étudié et réglementé que beaucoup plus tard par Vivenzio (1), à la suite du désastre de 1783 en Calabre et en Sicile.

On a prétendu que les anciens Egyptiens avaient en vue de résister aux tremblements de terre lorsque dans certains de leurs monuments ils donnaient aux assises de briques une concavité dirigée vers le haut. C'est par des raisons techniques d'un autre ordre que Choisy (2) motive cette curieuse disposition constructive, et d'ailleurs le but assigné serait invraisemblable dans un pays stable comme l'Egypte, tellement stable que les tremblements de terre ne comptent pas parmi les dix plaies dites d'Egypte.

Dans son analyse de l'ouvrage de Hittorff et Zant (3), Egger signale chez les architectes grecs deux précautions antisismiques. Comme ils n'employaient pas de mortier, la crainte des séismes les forçait d'y suppléer

(1) *Istoria dei tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria Ulteriore e nella Città di Messina nell' anno 1783*... Napoli, 1788.

(2) *L'art de bâtir chez les anciens Egyptiens*. Paris, 1904. ANAL. JL. DES SAVANTS. 1904. 303.

(3) *Recueil des monuments de Ségeste et de Sélinonte*...

par des tenons de bois ou de métal. Ce procédé n'a plus été retrouvé (1) que dans une *Chupa*, tour funéraire, construite à l'époque incassique près du lac Umayo, non loin du lac Titicaca. Une autre précaution était l'épaisseur des colonnes du style dorique. On remarque que les Grecs construisirent progressivement sur colonnes plus minces, à l'exception toutefois du temple de Ségeste. En Sicile, en effet, les tremblements de terre les obligeaient à conserver les dimensions massives des temps anciens.

Pline a préconisé, pour éviter les dégâts sismiques, de creuser des puits ou des fossés. Cette opinion erronée a été longtemps répétée par de nombreux auteurs.

Voilà tout ce que l'antiquité nous a laissé au sujet des constructions antisismiques. Après de longs siècles seulement, du moins d'après les documents connus, le problème s'impose aux constructeurs ; finalement, à notre époque, il forme une branche importante de la sismologie. Si l'on excepte une précaution spéciale, d'ailleurs très rationnelle, proposée par l'universel génie que fut Léonard de Vinci (2), de faire reposer les plafonds sur des voûtes renversées, certaines prohibitions édictées, dit-on, par les rois d'Espagne, pour les Indes Occidentales, et quelques autres dues à un Dey de Blidah à la suite du tremblement de terre de 1716 (3), il faut arriver au fameux tremblement de terre de Lisbonne du 1er novembre 1755, pour trouver chez les pouvoirs publics la préoccupation de promulguer des règlements d'édilité antisismique. C'est le marquis de Pombal qu'il faut louer de cette initiative :

(1) *Incidents of travels and explorations in the Land of the Incas.* New-York, 1877. 381.

(2) Le manuscrit A de la bibliothèque de l'Institut. Publié en fac-similé par M. Ch. Ravaisson-Molien. Paris, 1881. Fol. 51 ; recto.

(3) M. D. Shaw, *Voyage dans plusieurs provinces de la Barbarie et du Levant...* Trad. de l'anglais. La Haye, 1743.

il chargea Soarez de rédiger le premier règlement qui ait été mis en vigueur. Puis le gouvernement des Deux-Siciles rendit obligatoire l'application des règles formulées par Vivenzio à la suite du désastre des Calabres en 1783, et après un long intervalle le gouvernement pontifical établit des prescriptions pour les Abruzzes, en conséquence de la catastrophe de Norcia, le 22 août 1859.

Depuis lors les règlements ne se comptent plus et, surtout en Italie, chaque tremblement de terre violent en fait éclore un nouveau plus ou moins identique aux précédents ; c'est que le souvenir du danger s'efface promptement, les règles tracées tombent si vite en désuétude, qu'il faut en édicter de nouvelles à chaque désastre, et toujours c'est aussi vainement. Ces règlements se basent sur une étude minutieuse des dégâts produits suivant les matériaux employés, les structures constructives adoptées et la nature du sol sur lequel reposent les bâtiments. Une autre méthode consiste à étudier directement par le calcul et la mécanique les effets du mouvement sismique ; mais ce procédé infiniment moins sûr que le précédent n'a donné lieu jusqu'à présent qu'à un seul traité didactique, celui de Mascari-Genoese (1). Il est bon de signaler cet ouvrage au point de vue historique, car il inaugure une nouvelle voie de recherches. On est aussi entré dans la voie d'expériences directes sur la résistance des matériaux et des structures en produisant artificiellement le mouvement sismique à l'aide d'un appareil employé dès 1894 par les sismologues japonais, mais que nous croyons avoir été inspiré par Milne (2). Enfin c'est au même sismologue qu'est due la diffusion de l'emploi des sismographes, inventés par Carlile,

(1) *Trattato di costruzioni antisismiche*. Milano, 1915.
(2) *Catachtonic observatory in Japan*. NATURE. XIX. 43. London.

pour la surveillance de l'état de conservation du matériel roulant des chemins de fer, de leurs voies et de leurs ponts (1).

La science des constructions antisismiques est trop technique pour devoir être développée davantage ici ; il nous suffira, pour terminer, de signaler que les plus récents progrès de l'art de construire, et en particulier l'emploi du ciment armé, résolvent complètement les difficultés. Il n'y a plus nécessité de se préoccuper des commotions terrestres. Des édifices ainsi construits sont par eux-mêmes à l'abri des tremblements de terre; mais la méthode restera sans doute longtemps restreinte aux constructions coûteuses ; comme du temps des Romains, les habitations plus modestes des bourgeois et du peuple ne bénéficieront pas de ces progrès. Cependant le tremblement de terre de Messine du 28 décembre 1908 a fait éclore de nombreux projets de petites habitations à bon marché et à l'abri des tremblements de terre.

X. LES ORGANISATIONS SISMOLOGIQUES

Un exposé de l'histoire de la sismologie serait fort incomplet s'il ne contenait l'indication d'une des caractéristiques de la sismologie à notre époque, les organisations officielles ou privées instituées en vue de l'observation systématique des tremblements de terre sur toute la surface du globe. Nous ne mentionnerons que les principales.

L'initiative est partie des vastes colonies néerlandaises de l'Extrême-Orient, dont l'organisation fondée en 1843 est restée sans changements jusqu'à présent. Elle se borne à la publication annuelle de catalogues

(1) *Le sismographe de Carlile.* Ann. Ponts et Chaussées. Déc. 1876. Paris., 606.

volcaniques et sismiques (1) dans l'organe périodique de la Société scientifique des Indes Néerlandaises.

Depuis, l'entreprise fut imitée successivement en de très nombreux pays, notamment en 1861 par les Pères Jésuites de Manille pour l'archipel des Philippines, de sorte que la surface entière, ou à peu près, du globe est maintenant étroitement surveillée au point de vue sismique dans d'innombrables observatoires munis de sismographes. Mais ce qu'il importe davantage de connaître au point de vue de l'histoire de la science des tremblements de terre, ce sont parmi ces organisations celles qui possèdent une revue dans laquelle se publient régulièrement d'importants travaux de sismologie. Chacune d'elles se caractérisant par certaines tendances, elles constituent pour ainsi dire des écoles.

Les Transactions of the seismological Society of Japan, société fondée en 1880 par John Milne, continuées de 1890 à 1895 par son Seismological Journal, ont été surtout remplies des travaux de ce regretté savant. Le caractère en fut très éclectique. Au contraire, dans les Publications of the imperial earthquake investigation Committee, publiées en anglais et plus étendues en japonais, prédominent surtout les recherches sismographiques, les études de volcanologie et d'architecture antisismique, enfin l'examen des relations des tremblements de terre avec d'autres phénomènes de la géophysique. La mentalité japonaise s'y montre surtout encline aux observations précises et de longue haleine, de sorte qu'on n'y rencontre pour ainsi dire jamais de théories un peu synthétiques. Depuis la fondation de ce comité en 1893, l'éminent sismologue Omori en a écrit la plupart des travaux.

Rentré en Angleterre, en 1896, Milne a donné une vie nouvelle aux Reports of the Committee of seis-

(1) Natuurkundig Tijdschrift van Nederlandsch-Indië. Batavia.

MOLOGICAL INVESTIGATION ; BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENTS OF SCIENCE, et, dans son observatoire privé de Shide Hill House, il a surtout dirigé ses efforts vers l'étude des téléséismes, conjointement avec une multitude de questions de détail, souvent nouvelles.

A l'exemple du BOLLETTINO DEL VULCANISMO ITALIANO, créé en 1873 par Michele Stefano de Rossi et dont nous avons déjà parlé, la Société sismologique fondée en 1895 par Tacchini, sous les auspices du Comité royal météorologique et géodynamique, publie un bulletin qui se fait remarquer par son éclectisme, toutes les branches de la sismologie y étant à peu près également représentées, sauf peut-être l'aspect géologique un peu négligé. Ce dernier point de vue est mieux suivi dans les INFORMATIONS DE LA COMMISSION DES TREMBLEMENTS DE TERRE DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE ET ROYALE DE VIENNE, fondée aussi en 1895, grâce sans doute à l'influence de Von Mojsisovics et de Hoernes. En Autriche encore, Albin Belar publiait à l'observatoire sismologique de Laybach la revue DIE ERDBEBENWARTE (1900-1910), remarquable par la grande variété des mémoires insérés, le point de vue historique surtout y étant trés soigné.

Un recueil consacré à toutes les branches de la science de la terre et hautement recommandable, est à signaler par l'impulsion vigoureuse qu'il donna en Allemagne aux études sur les tremblements de terre, mais surtout dans la voie de la sismologie mathématique ; ce sont les BEITRAEGE ZUR GEOPHYSIK que Gerland fondait en 1887. De là est sortie l'Association internationale de sismologie, instituée à la Station sismologique de l'Université de Strasbourg, établissement qui s'est principalement consacré à l'étude des appareils sismographiques ; ce fut dans les BEITRAEGE que débuta en 1903 la série des grands catalogues mondiaux de tremblements de terre ; mais l'élaboration

de ceux de 1904 et des années suivantes passa aux soins de l'Association internationale de sismologie, organisée sur le modèle de l'Association internationale de géodésie. Les comptes rendus des réunions de cette Association ont largement contribué aux progrès récents de toutes les branches de la sismologie, à l'exception toutefois de l'aspect géologique particulièrement négligé.

Sous l'influence du prince Boris Galitzisne, les Comptes rendus de la Commission sismique permanente de l'Académie impériale des Sciences de St-Pétersbourg (1902-1913) ont été à peu près exclusivement consacrés à la sismographie et à la sismologie mathématique.

Le Bulletin du Service sismologique du Chili a principalement développé le point de vue historique et l'architecture antisismique. Malheureusement le gouvernement de ce pays l'a supprimé en 1916.

Enfin la sismologie géologique a trouvé un important organe dans le Bulletin de la Société sismologique d'Amérique, fondée en 1911 par le géologue Branner à l'Université Stanford Leland de Californie. Ses travaux concernent surtout le versant Pacifique des Etats-Unis.

Toutes ces organisations publient en outre de copieux catalogues régionaux et il existe une multitude de bulletins locaux pour énumérer les macroséismes et les microséismes.

En résumé, au point de vue documentaire, la sismologie est maintenant aussi bien outillée que par exemple la météorologie. Ce résultat obtenu en peu de lustres est plein de promesses pour l'avenir.

F. de Montessus de Ballore,
Directeur du Service sismologique du Chili.

LE

Gisement de Potasse alsacien

ET

l'état actuel de son exploitation (1)

I. HISTORIQUE

En 1904, une société de potasse alsacienne, dirigée par M. Joseph Vogt, se constituait en vue de rechercher la houille et le pétrole dans le sous-sol alsacien. Un premier sondage, exécuté dans la forêt de Wittesheim, en bordure de la ligne du chemin de fer de Cernay à Mulhouse, conduisait à la découverte du sel gemme à 368 mètres de profondeur, puis d'une première couche saline potassique à 627 mètres, dont l'épaisseur était voisine de 1 m. 50 ; à une vingtaine de mètres au-dessous de la première, on atteignait une deuxième couche potassique de 4 mètres ; le sondage était poursuivi jusqu'à la profondeur de 1120 mètres sans sortir de la couche de sel et sans rencontrer de nouvelles régions potassiques.

M. Vogt et ses associés comprirent de suite l'importance de leur découverte, mais ne réussirent pas à communiquer leur confiance dans l'avenir de l'affaire aussi bien aux banquiers alsaciens qu'aux banquiers parisiens. C'est en vain qu'ils frappèrent à la porte de

(1) Conférence faite à Bruxelles à l'Assemblée générale de la Société scientifique de Bruxelles, le 27 janvier 1921.

grandes banques françaises et qu'ils cherchèrent à les intéresser à des recherches, qui donnaient cependant les plus belles espérances. Il leur fut donc nécessaire de se tourner du côté des banques allemandes, qui, plus avisées, fondèrent la société Gewerkschaft Amélie, en vue de continuer et d'étendre les recherches.

165 sondages permirent d'établir une première délimitation du bassin dont l'étendue fut reconnue voisine de 200 kilomètres carrés.

Le premier puits, le puits Amélie I, était foncé en 1908 et l'extraction commençait en 1910.

Pendant que se développaient à la fois les études du gisement et les premières installations, l'une des plus importantes sociétés exploitant le gisement potassique de Stassfurt, la *Deutsche Kali Werke,* se rendait acquéreur de toutes les concessions alsaciennes, puis en rétrocédait ultérieurement deux fractions, l'une au groupe *Wintersall,* également concessionnaire de gisements prussiens, la seconde au groupe *Hohenzollern* ou *Röchling.*

Le gisement potassique alsacien devenait ainsi une propriété presque exclusivement allemande ; seuls quelques Alsaciens ou groupements d'Alsaciens possédaient un nombre très restreint de parts dans les nouvelles sociétés.

Convaincu que le bassin alsacien devait s'étendre au nord-est, M. Vogt entreprit alors de nouvelles prospections en 1910 et fut assez heureux pour obtenir 28 concessions nouvelles, dont l'exploitation et la mise en valeur furent confiées à la société franco-alsacienne Kali Ste-Thérèse, société formée au capital de 10 millions, grâce à l'aide de M. Mercier, directeur des mines de Béthune, et de certains groupes financiers nancéens.

La situation des mines de potasse alsaciennes se présentait ainsi à la veille de la guerre :

Sociétés concessionnaires et sièges sociaux	Nombre de puits	Capacité d'extract. en sels bruts p. jour
Deutsche Kali Werke (Benterode)	7 équipés	3250 tonnes
Hohenzollern ou Röchling	2 équipés	2100 »
(Freden Hanovre)	2 en fonçage	
Wintershall (Hernigen)	2 équipés	1200 »
Kali Ste-Thérèse (Mulhouse)	1 équipé	600 »
	3 en fonçage	
TOTAL	17 puits	7150 tonnes
	12 équipés	

La capacité extractive des 12 puits équipés correspondait à un tonnage journalier de 7 150 tonnes ; toutefois cette capacité était purement théorique, l'exploitation des mines autour des puits n'était pas assez avancée pour répondre à leur puissance de travail. En fait, en 1913 les mines alsaciennes ont produit 350 000 tonnes de sels bruts représentant environ 60 000 tonnes de potasse anhydre (K^2O) (1). On se rendra compte du peu d'importance prise sur le marché de la potasse par les mines alsaciennes, si l'on compare le chiffre précédent à la production mondiale de 1913, qui atteignait 1 110 370 tonnes de potasse pure (K_2O), c'est-à-dire une quantité vingt fois supérieure à la production alsacienne, la partie complémentaire provenant exclusivement des gisements allemands. Cette faible production alsacienne tenait d'abord à la jeunesse des mines dont l'exploitation était seulement en voie d'organisation, et ensuite à la faible part qui leur avait été attribuée dans la répartition des quanta de production par le *Kalisyndicat* auquel elles avaient dû s'agréger.

(1) On mesure la richesse en potasse d'un engrais, par la quantité d'oxyde de potassium (K^2O) qu'il contient.

II. PUISSANCE DU GISEMENT

Le gisement alsacien appartient à l'oligocène moyen de l'époque tertiaire ; il se présente, comme nous l'avons vu, en deux couches distantes d'une vingtaine de mètres : la couche supérieure de 1 m. à 1 m. 50 d'épaisseur, avec une moyenne de 1 m. 20, est la plus concentrée en potasse, elle contient 22 à 25 % de potasse anhydre sous forme de chlorure de potassium associé au sel marin, soit donc une teneur de 35 à 40 % en chlorure ; la couche inférieure, avec une épaisseur variant de 2 m. 50 à 5 mètres et une moyenne de 4 m., donne de 15 à 20 % en oxyde de potassium ou 23 à 32 % en chlorure de potassium.

Le bassin se développe entre Mulhouse et Guebwiller sur une longueur nord-sud d'environ 20 kilomètres et une largeur est-ouest de 12 à 15 kilomètres. Il est limité à l'ouest par la chaîne des Vosges, à l'est par le Rhin. Les deux couches parallèles sont inclinées dans la direction nord-est : c'est ainsi qu'à la mine Amélie la couche supérieure est à 500 mètres, elle descend progressivement à 550 à Théodore, 630 à Alex, pour atteindre 830 à Ensisheim. La surface effective de la zone potassique est de 180 kilomètres carrés. On en déduit facilement que les mines alsaciennes contiennent une quantité de sel de potassium correspondant à 323×10^{9} tonnes de K^2O, c'est-à-dire un stock susceptible d'alimenter le monde pendant 300 ans avec la consommation d'avant-guerre. Dans une étude antérieure sur l'évolution de la potasse à la surface de la terre (1), j'ai montré que cette réserve de potasse était équivalente à celle que contenaient 1000 kilomètres cubes des eaux de la Méditerranée, soit environ un

(1) Revue Scientifique, n° 8, 1919. *Les stocks mondiaux de potasse et l'évolution des sels potassiques à la surface de la terre.*

ZONE ▬▬▬ Concessions allemandes sequestrées.
ZONE - - - Concessions Kali Sainte-Thérèse non seques trées.
..... Limite de la souche supérieure. Épaisseur moyenne 1 m. 50.
———— Limite de la souche inférieure. Epaisseur moyenne 4 à 5 mètres.

trois-millième du cube total de cette mer. Ainsi, en admettant pour les eaux salées qui se sont évaporées progressivement à l'époque de l'oligocène, une teneur en potasse comparable à celle des mers actuelles, les gisements mulhousiens, pour se constituer, ont exigé une évaporation d'eau atteignant au minimum 1000 kilomètres cubes.

Le stock alsacien est relativement faible ; j'ai établi en effet que la potasse entraînée chaque année à la mer, était de l'ordre de 70×10^3 tonnes, c'est-à-dire que la potasse alsacienne ne pouvait compenser que pendant une durée de 4 à 5 ans la potasse arrachée à la surface du sol par les eaux de pluie. On se rend surtout compte de la petitesse d'une telle réserve quand on la compare à la quantité de potasse contenue dans 1 mètre d'épaisseur de l'écorce terrestre : une telle nappe contient en effet, d'après mes évaluations, une quantité de potasse deux millions de fois plus grande.

Mais il est surtout intéressant de mettre en parallèle les gisements allemand et alsacien. Avec ses 1500 kilomètres carrés, ses 200 mines en exploitation, ses 200 puits, j'ai calculé que le bassin prussien pourrait alimenter le monde pendant 7500 ans (et non pas 600 000 ans, comme Oechsenius l'avait faussement indiqué) ; il est donc 25 fois plus puissant que le bassin alsacien ; par contre, l'isolement des produits commerciaux, à partir des sels bruts, en est plus compliqué : l'opération est moins économique.

Les dépôts primitifs alsaciens ont été remaniés par les eaux, qui ont décomposé les sels primitifs et éliminé les sels de magnésium, de sorte que la carnallite, par exemple, chlorure double de potassium et de magnésium, n'a laissé que le chlorure de potassium. En Allemagne, au contraire, dans la plupart des mines, on retrouve les sels tels qu'ils résultent de l'évaporation des eaux de la mer, sels complexes contenant toujours

des sels de magnésie dans leur composition, chlorures doubles ou sulfates complexes ; il est alors nécessaire de faire subir des traitements appropriés pour éliminer les sels de magnésium dont la présence dans l'engrais potassique serait funeste pour les plantes ; ces traitements consistent essentiellement à faire entrer les sels bruts en dissolution, à opérer la concentration de cette dissolution pour obtenir le composé potassique commercial par cristallisation ; l'ensemble de ces opérations exige une consommation de houille assez importante.

III. RÔLE DES SELS DE POTASSE

Les sels de potassium sont indispensables à la vie des plantes : toutes les plantes sans exception, paraissent ne pouvoir se développer dans un terrain privé de cet alcali. Pour élever le rendement des cultures effectuées sur des sols pauvres en potasse, il convient d'y ajouter le complément nécessaire en sels potassiques : pour maintenir un haut rendement après la récolte des végétaux gros consommateurs de potasse, comme le tabac, le coton, la betterave, les plantes fourragères, il est nécessaire, d'après la loi de restitution, de rendre au sol la potasse exportée par la récolte.

La potasse joue donc un rôle considérable au point de vue agricole, concurremment avec les composés azotés, nitrates, sels ammoniacaux d'une part, et les phosphates d'autre part.

A côté de ce rôle de premier plan, la potasse est l'objet d'une branche de l'industrie chimique, à la vérité aujourd'hui fort secondaire, et qui correspond à un tonnage de l'ordre du douzième de la consommation totale. C'est qu'en effet, depuis l'invention de Nicolas Leblanc, la soude a remplacé la potasse dans la plupart de ses applications comme base soluble industrielle.

La production de 1 100 000 tonnes se répartissait ainsi en 1913 dans les principaux pays consommateurs:

Allemagne	536.102	tonnes
Etats-Unis	236.883	»
France	42.436	»
Scandinavie et Danemark	32.189	»
Autriche-Hongrie	25.072	»
Belgique	13.189	»

La guerre a séparé les Alliés de leur fournisseur habituel de potasse ; aussi ont-ils dû, pour certaines opérations, se procurer à tout prix une fraction de leur consommation habituelle et parer ainsi aux besoins les plus pressants.

Les Allemands comprenaient l'importance de leur monopole mondial de la potasse et se proposaient d'en tirer parti lors de la discussion du Traité de paix; aussi comprend-on facilement les efforts qu'ils firent pour conserver ce monopole.

La Vossische Zeitung écrivait en 1915 : « Nous mé-
» nagerons la potasse aux neutres et à nos adversaires.
» Si les matières premières nous sont refusées, nous
» nous vengerons sur l'agriculture ennemie ». Ostwald de son côté déclarait que, grâce à ses dépôts formidables de sels de potasse, il est au pouvoir de l'Allemagne de décréter que telle nation sera dans l'abondance et que telle autre mourra de faim.

C'est ainsi que, dans le traité germano-suisse de 1917, l'Allemagne obligea la Suisse à des concessions importantes en échange d'un quantum de sel de potasse dont cette dernière avait un pressant besoin pour augmenter ses rendements culturaux et améliorer sa situation alimentaire.

IV. AUTRES GISEMENTS POTASSIQUES

Existe-t-il d'autres gisements de potasse dans le monde et le monopole allemand n'était-il pas appelé à disparaitre dans un avenir assez proche ?

La Galicie possède un bassin potassique connu depuis longtemps et qui n'a cessé d'être exploité : toutefois l'extraction en est très limitée : la production annuelle ne dépasse pas 150 000 tonnes de sels bruts avec une teneur de 30 % de potasse anhydre, c'est-à-dire représentant 45 000 tonnes de potasse effective. Les concessions appartiennent pour les trois quarts à l'État polonais, le dernier quart étant la propriété de sociétés privées. Toutefois les géologues polonais estiment que la superficie du bassin pourrait atteindre jusqu'à 2000 kilomètres carrés.

On a découvert dans l'Erythrée un gisement de chlorure de potassium presque pur, dont la concession fut accordée à un groupe italien pendant la guerre. J'ai vu en 1917 aux usines Rossi de Legnano, des centaines de tonnes de ce chlorure en gros cristaux dosant 96 à 97 %. Le gisement se trouve à 100 kilomètres de la côte : le sel est transporté à dos de chameau jusqu'au petit port italien de Fatimari : on devait construire un chemin de fer reliant le gisement au port, mais ce projet a été abandonné, car une étude appropriée a bientôt montré que le gisement était très limité et qu'on se trouvait, semble-t-il, en présence d'une poche isolée.

En 1913, un ingénieur bordelais, qui recherchait de nouveaux gisements de sel gemme dans la région de Cordoba, en Espagne, rapporta à Bordeaux une eau salée amère qu'il fit analyser par un pharmacien; celui-ci y reconnut la présence de la potasse. Ce fut l'origine d'une prospection qui fut confiée à M. Etienne, ingénieur au Corps des Mines. On reconnut bientôt qu'on se

trouvait problablement en présence d'un gisement puissant; des sondages rapidement effectués justifièrent les prévisions et des concessions furent accordées à un groupement franco-belge. Des Espagnols et des Allemands réclamèrent ensuite des concessions autour de la première, puis vinrent en dernier lieu de nouveaux groupes français, de telle sorte que l'ensemble des concessions représente actuellement une superficie de 1150 kilomètres carrés. Les géologues admettent même que la potasse pourrait s'étendre sur un développement de 7000 km². On se trouve donc ici en présence d'un bassin très puissant qui entrera bientôt en exploitation, car on termine en ce moment le forage du premier puits.

Ces nouveaux gisements portaient atteinte au monopole allemand et menaçaient de l'annihiler ; il fallait réagir : aussi les Allemands, avec les moyens d'action les plus variés et les plus persuasifs, firent-ils pression sur le gouvernement et les parlementaires espagnols en vue d'empêcher la concurrence éventuelle de la potasse espagnole. En 1915 ou 1916, le sénat espagnol votait une loi qui interdisait la sortie de la potasse d'Espagne, celle-ci devant être réservée à l'agriculture nationale. Sur la réclamation du gouvernement français, appuyé par les Alliés, qui défendait les concessions régulièrement accordées à ses ressortissants, le gouvernement espagnol prit l'engagement de ne pas porter la loi devant les Cortès et de laisser les choses en l'état ; il en fut bien ainsi jusqu'en 1918, mais lors de l'offensive allemande sur Amiens au mois de mars, les Allemands se croyant vainqueurs revinrent à la charge et obtinrent satisfaction ; le 18 juillet, la Chambre espagnole votait à son tour l'interdiction de la sortie de la potasse. Est-il besoin d'ajouter que la victoire des Alliés rendit caduques ces lois d'exception ? D'ailleurs, l'Alsace faisant retour à la France avec ses

mines de potasse, le monopole allemand de la potasse avait désormais vécu.

V. LES MINES SOUS LE RÉGIME DU SÉQUESTRE

Le 17 novembre 1918, les troupes françaises entraient à Mulhouse, le gouvernement français plaçait aussitôt sous le régime du séquestre les mines représentant les concessions des trois groupes allemands ; le commandant Bélugou, ingénieur au Corps des Mines, prenait la direction technique de l'exploitation, puis M. Helmer, avocat à Colmar, depuis sénateur du Haut-Rhin, était nommé, par le tribunal de Mulhouse, administrateur du séquestre.

Le commandant Bélugou se trouvait en présence d'une tâche importante et délicate ; les puits, qui se trouvaient dans le voisinage du front, n'avaient pas fonctionné et plusieurs d'entre eux avaient été envahis par les eaux, seules les mines de la région nord-ouest avaient été soumises à une exploitation intensive et antiméthodique ; il fallait dénoyer les puits et réorganiser l'exploitation sur des bases logiques. La direction des mines et des usines était presque exclusivement allemande à tous les degrés de la hiérarchie ; il convenait de reconstituer des cadres nouveaux en évitant toute complication.

Tous ces problèmes reçurent progressivement leur solution, si bien que la production en 1919, malgré une grève de deux mois, atteignait 92 000 tonnes, contre 60 000 tonnes en 1913, et près de 200 000 tonnes en 1920. Actuellement, usines et mines fonctionnent avec un régime correspondant à 230 000 tonnes de production annuelle, représentant plus du cinquième de la production mondiale d'avant-guerre.

J'ai dit tout à l'heure que la direction technique

française avait dû réagir contre les malfaçons et l'exploitation irrationnelle de la direction allemande. C'est ainsi que les galeries de traçage avaient été établies un peu dans tous les sens, sans plan rationnel; l'exploitation des couches potassiques était réalisée par piliers tournés, ou par galeries parallèles, qui avaient l'inconvénient de faire perdre dans le premier cas 25 % et dans le second 40 à 45 % du sel de la mine; de plus, les piliers se délitant avec le temps, et aucun remblayage n'étant pratiqué, la mine était menacée d'affaissements brusques d'autant plus inquiétants que les bancs potassiques sont encadrés dans des schistes noirs bitumineux chargés de grisou.

De même, la zone de protection des puits ne dépassait pas un rayon de 50 mètres, elle fut étendue à un rayon de 200 mètres ; cette zone de protection, dans laquelle l'exploitation est réservée, a pour but d'éviter les affaissements voisins des puits, affaissements susceptibles de les rendre inutilisables en provoquant des dislocations de la maçonnerie et du bétonnage.

Enfin, l'exploitation de la grande veine était en avance sur celle de la veine de moindre épaisseur, mode opératoire tout à fait irrationnel.

VI. TRAITEMENT DES MINERAIS ET PRODUITS COMMERCIAUX OBTENUS

Le chlorure de potassium mêlé au sel marin et constituant la sylvinite, est contenu dans des couches parallèles alternantes de teintes différentes, roses, rouges, grises et noires. Ces couches successives ont des épaisseurs variant de 5 à 20 cm. Les plus riches, dont la teneur en chlorure peut varier de 47 à 93 %, ont une teinte rose, elles sont friables et se pulvérisent facilement ; les bandes rouges, teintées par

l'oxyde de fer sont dures et moins riches, elles contiennent un peu de gypse ; les bandes grises ne renferment guère que du sel marin et du gypse, elles sont également assez dures ; enfin des schistes noirs, mélange de sel marin et d'argile imprégné de produits bitumineux, se présentent en lames à faces parallèles très dures.

L'attaque du minerai, sur le front de l'exploitation, se fait à l'aide d'explosifs : les masses détachées sont chargées sur des wagonnets en éliminant autant que possible les schistes noirs. C'est à la surface que se fait la séparation des sels en deux produits : la sylvinite ordinaire, dosant de 12 à 16 °/₀ d'oxyde de potassium, et la sylvinite riche, atteignant 20 à 22 °/₀. Cette séparation est basée sur la facile pulvérisation des couches riches.

Le minerai est culbuté sur des grilles à lames parallèles oscillantes distantes de 5 centimètres qui opèrent une première séparation des gros morceaux; ces derniers circulent ensuite sur une table de triage, tournant devant des ouvriers qui éliminent les schistes faciles à reconnaître. Des broyeurs appropriés concassent ensuite le minerai assez finement. La sélection en sylvinite ordinaire et riche s'effectue sur le minerai broyé à l'aide d'une toile à mailles carrées de 4 millimètres de côté ; les portions les plus fines sont les plus riches ; on abaisse d'ailleurs la teneur des portions restées sur le tamis au taux habituel commercial en leur ajoutant une quantité convenable de schistes pulvérisés.

La simplicité de ces opérations montre de suite la supériorité du minerai alsacien sur le minerai allemand, qui exige des traitements par des solutions en vue d'en éliminer les sels de magnésium qui y sont contenus.

A côté de ces produits commerciaux, sylvinite ordinaire et sylvinite riche, tous deux consommés comme engrais, les mines de potasse d'Alsace fabriquent

dans trois usines du chlorure de potassium à 80-85 °/₀ qui peut être utilisé également comme engrais et convient parfaitement pour l'exportation à grandes distances, et un chlorure de potassium pur dosant de 95 à 98 °/₀ qui est réservé pour les emplois industriels.

La capacité de production des trois usines est voisine de 300 tonnes par jour.

La sylvinite étant constituée essentiellement par un mélange de chlorure de sodium et de chlorure de potassium, il convient d'en éliminer le sel marin pour obtenir le sel de potassium. L'opération est fort simple en principe, elle repose sur le fait suivant : quand on dissout simultanément les deux chlorures dans l'eau, la solubilité du sel marin diminue quand la température s'élève, celle du chlorure augmente au contraire dans les mêmes conditions. Si donc on sature à chaud une solution avec les deux sels, cette solution laissera déposer par refroidissement uniquement du chlorure de potassium.

C'est la même solution qui sert presque indéfiniment pour l'opération. Les eaux mères provenant d'une cristallisation précédente, passent par un réchauffeur qui les porte aux environs de 100°, de là elles se rendent à l'une des extrémités du bac de dissolution tandis que la sylvinite pénétrant à l'autre extrémité progresse peu à peu dans le bac allongé en même temps que le sel de potassium passe en solution, de telle sorte que le sel marin reste seul quand la sylvinite arrive près de l'entrée de la solution fraîche. Des tubes parcourus par la vapeur maintiennent la solution du bac à la température de 110°. La solution saturée sort du bac à l'entrée du sel, elle se rend d'abord dans des récipients de décantation et finalement aux cristallisoirs où le chlorure de potassium cristallise par refroidissement.

On obtient ainsi un chlorure dont la teneur peut varier de 80 à 90 °/₀, on peut le purifier et passer à un

sel à 95-98 % par un raffinage assez simple à réaliser. On fait simplement circuler le sel impur dans une solution froide saturée de chlorure de potassium, le sel marin s'y dissout, il reste le chlorure pratiquement pur.

A la mine Reichland que j'ai visitée au mois d'août dernier, on extrayait journellement 1000 tonnes de sels bruts par jour, dont 600 tonnes étaient vendues comme sylvinite ordinaire et riche, les 400 tonnes complémentaires étaient traitées dans la fabrique et donnaient environ 100 tonnes de chlorure de potassium.

VII. DÉVELOPPEMENT ÉVENTUEL DU BASSIN ALSACIEN

L'ensemble des mines d'Alsace, mines allemandes séquestrées et mines de la société Kali Ste-Thérèse, travaille actuellement avec une production annuelle de 230 000 tonnes de potasse pure ; mais la direction continue à développer l'exploitation dans les mines et à augmenter le nombre des puits, de sorte que l'on prévoit pour la fin de 1922 une extraction journalière d'environ 8500 tonnes de sels bruts et dans 4 à 5 ans on espère atteindre le chiffre de 14 000 tonnes, c'est-à-dire une extraction dépassant 4 millions de tonnes et représentant plus de 600 000 tonnes de potasse pure, soit donc plus de la moitié de la production mondiale d'avant-guerre.

Le bassin alsacien est-il nettement délimité et n'y a-t il aucun espoir d'en envisager l'extension ? On s'est d'abord demandé si la couche potassique ne se prolongeait pas du côté de Belfort ; les sondages effectués dans la région à des profondeurs de 900 à 1000 mètres n'ont donné aucun résultat positif : on a cependant reconnu à ces profondeurs la présence de l'anhydride qui précède toujours les dépôts salins : il paraît probable qu'un effondrement a dû se produire dans cette région et que

la couche potassique s'est trouvée entraînée à une plus grande profondeur.

D'autre part, un sondage effectué à Buggingen, dans le Grand-Duché de Bade, a révélé l'existence, de l'autre côté du Rhin, d'une couche potassique de 4 mètres d'épaisseur, se présentant avec les particularités des couches alsaciennes. C'est évidemment une extension du bassin alsacien mais sans portée pratique intéressante, car le massif éruptif de la Forêt-Noire limite nécessairement son étendue à l'est.

Une étude géologique récente de M. Floquet, directeur de la mine Reichsland, rend extrêmement probable l'extension du bassin dans la direction du nord, entre Colmar et Sélestat, la faille qui limite actuellement le nord du gisement paraissant ne pas se prolonger bien loin. Une société vient de se constituer récemment pour entreprendre de nouveaux sondages entre Ensisheim et Neubrisach. On peut donc légitimement espérer voir s'accroître, dans un temps peu lointain, la réserve de potasse alsacienne.

Une autre question se pose. J'ai dit que l'Espagne paraissait posséder des gisements importants, qui dans quelques années seront en exploitation régulière ; d'autre part, les mines de potasse alsaciennes ont un programme correspondant à une large extension de leur production. Qu'adviendra-t-il de cette industrie le jour où toutes les sociétés productrices de potasse entreront en concurrence ? N'y a-t-il pas à craindre un retour en arrière par suite de surproduction et un effondrement du marché ? Si ces éventualités devaient se réaliser, on peut affirmer qu'elles ne sont pas à redouter dans un avenir immédiat, car la consommation de la potasse tend à croître plus rapidement que la production.

C'est ainsi que l'Allemagne, depuis 1913, a augmenté sa consommation de 55 %; la France et la Belgique

arrivent à une proportion d'augmentation du même ordre, 52 et 53 °/₀ ; les Etats Scandinaves et le Danemark, dont les rendements culturaux atteignent, comme on le sait, des chiffres très élevés, ont même consommé en 1919, 73 °/₀ de potasse de plus qu'en 1913 ; les Etats-Unis, gros consommateurs de potasse, n'ont pu importer qu'une quantité bien inférieure à leurs besoins : il faut s'attendre de ce côté à une consommation très amplifiée.

Camille Matignon.
Professeur de chimie au Collège de France.

L'Electron, Grain d'électricité (1)

Faraday et les physiciens de son école faisaient consister tous les phénomènes électriques ou magnétiques dans des déformations et des perturbations de l'éther ; ils situaient dans l'éther non seulement le siège, mais encore l'origine des forces qui se manifestent dans la succession graduée des formes diverses de l'énergie mécanique calorifique, lumineuse, chimique, rayonnante, électrique, etc. L'éther était le réceptacle de toute l'énergie de l'Univers ; et cet Univers n'était fait que de matière, d'éther et d'énergie. Inutile d'en appeler à aucune substance spéciale : dans leur vocabulaire, l'électrisation, qui est un état, remplaçait la chose qu'autrefois on dénommait électricité. La puissance du génie des Maxwell et des Hertz, pour ne citer qu'eux, plus encore que la valeur de leur théorie et les ressources de leur méthode, les conduisit à découvrir des faits imprévus, à établir des relations inattendues et à formuler des lois remarquables, dont l'expérience confirma l'exactitude.

Mais la doctrine, pour large qu'elle fût, était trop courte par endroits, et il arriva qu'elle ne suffit plus à rendre compte de tout ce que l'on découvrait ; toutes les théories connaissent tôt ou tard cette épreuve ; elles n'en meurent pas toujours. Avec du temps et de la persévérance, on trouve quelquefois des solutions libéra-

(1) Revue des Questions scientifiques, IIIe série, t. XXVIII, juillet 1920, p. 65, octobre 1920, p. 305 ; t. XXIX, janvier 1921, p. 72.

trices : celles-ci se faisaient attendre dans les circonstances présentes.

Voici qui était plus grave. Le modèle représentatif du champ des déformations de l'éther, pour être dessiné conformément aux apparences et avec précision, suscitait néanmoins de sérieuses difficultés d'interprétation de l'ensemble des phénomènes. La tension longitudinale des tubes de force s'exerce dans une direction et dans un sens déterminés : pourquoi ? Cette tension, qui correspond à une contrainte du milieu, éther et diélectrique, aboutit à un déplacement le long des tubes : comment ? Où se trouve ici le lien de cause à effet, et de quelle manière un accroissement d'électrisation résulte-t-il d'une augmentation d'un nombre de lignes et de tubes de force, ayant leurs racines et prenant leur point d'appui sur la surface du conducteur ? S'il ne fallait voir dans une charge d'électricité qu'une extrémité d'un tube de tension, la notion concrète de la quantité positive et négative, répandue sur une portion de surface, ressortait mal d'actions qu'on localisait entièrement dans le milieu. La dissymétrie, qui existe entre les deux modes d'électrisation + et — et se marque si nettement dans la migration des ions et les chiffres de transport, les rayons cathodiques et anodiques des tubes à gaz raréfié, les aigrettes d'aspect différent dans l'air, les émissions et les décharges de signe préféré, la conductibilité dite unipolaire des flammes, etc., ne pouvaient être assignées à aucune cause. Quelques-uns cherchèrent la solution de ces problèmes dans les attaches qui lient la matière à l'éther, et ils avaient raison de le faire, car il y avait là une lacune : ils n'aboutirent qu'à forger quelques hypothèses de plus.

Certains faits semblaient irréductibles à la thèse. En particulier, l'électrolyse restait intraduisible en ce langage figuré, et son explication ne trouvait point de

place dans le cadre d'une théorie, qui ne voulait connaître que des manières d'être ; il était difficile d'appuyer des déformations de l'éther sur des ions ; cette théorie ne correspondait pas mieux avec les faits révélés par les rayons cathodiques, anodiques, X et autres, et par les radiations α, β et γ, émanées des corps radioactifs et présentant tous les caractères d'une émission d'électricité.

En étudiant plus complètement les courants qui traversent les coupures pratiquées dans les conducteurs liquides et gazeux, on constata que les observations ramenaient invinciblement l'esprit à la considération d'une substance existant réellement, passant effectivement d'un bord de la coupure à l'autre, possédant une structure discontinue, dont les corpuscules représentaient individuellement une quantité élémentaire : cette considération n'avait pas échappé, nous l'avons déjà dit, à la clairvoyance de Maxwell et de Helmholtz ; mais ces maîtres n'eurent qu'une vision fugitive de cette constitution moléculaire, qui s'est révélée si clairement à nous au cours des dernières années.

Hittorf avait bien, dès 1869, en poussant le vide dans les tubes à gaz plus loin qu'on ne l'avait fait avant lui, acquis une idée assez juste du mécanisme des décharges à travers les gaz très raréfiés, et il avait signalé le phénomène de transport qui s'y manifeste. En perfectionnant la technique des tubes, Crookes fit un pas de plus vers la lumière, mais il était trop hypnotisé par la considération faradique de l'état radiant de la matière, et il commit la faute de rattacher trop étroitement les explications qu'il proposa à la théorie cinétique des gaz, alors dominante, et l'hypothèse du bombardement *moléculaire,* qu'il fit accepter, retarda l'interprétation exacte des apparences et le triomphe des idées vraies.

Giese fut mis dans la bonne voie par ses belles

études, de 1882, sur la conductibilité des gaz extraits des flammes ; c'est à ce savant que nous devons la notion nouvelle de la conduction électrique des gaz, qu'il n'attribue plus uniquement à un mouvement de leurs molécules (1) ; il fit mieux encore en appliquant la théorie électrolytique à la décharge électrique. « Les » électrolytes, écrivait-il, ont donné lieu jusqu'ici aux » suppositions les plus satisfaisantes pour expliquer le » mécanisme de la conductibilité ; on admet qu'avant » que le courant ne traverse le liquide électrolysable, » il y existe déjà des ions, des atomes ou groupes » d'atomes isolés, qui permettent la production d'un » courant en se déplaçant le long des lignes de force, » en portant avec eux des charges électriques. » C'est ainsi que les choses doivent se passer dans les gaz, Giese le déclarait formellement en 1889, et il faut reconnaître en lui un précurseur aux vues larges et lumineuses (2).

Schuster, Elster et Geitel, puis Arrhenius, développèrent heureusement ces idées (3) ; pour ces physiciens avisés, la question ne souffrait déjà plus aucun doute. Schuster faisait remarquer judicieusement que « croire » à un effort et à une déformation électrique n'est pas en » contradiction avec l'idée qu'il y a, dans l'atome, quelque » chose qui crée cet effort et qui peut être pris comme » la quantité d'électricité élémentaire », et il proclamait

(1) Giese, *Experimentelle Beitraege zur Kenntniss von Elektricitaets Leitungsvermögen der Flammengase* ; ANNALEN DER PHYSIK UND CHEMIE, t. XVII, 1882 ; *Grundzüge einer einheitlichen. Theorie der Elektricitaets Leitung* ; IBID., t. XXVII, 1889.

(2) Constatons toutefois l'existence d'un certain flottement dans les thèses de Giese ; il ne croyait pas que l'hypothèse corpusculaire, suffisante pour expliquer la conductibilité des électrolytes, fût applicable aux métaux conducteurs.

(3) La théorie des ions a rencontré au début, en France, il faut l'avouer, une médiocre faveur, de l'aveu de M. Lucien Poincaré (*La Physique Moderne*, page 305) ; le temps perdu a été regagné depuis lors, nous le verrons plus loin.

ainsi la possibilité d'un accord entre les théories de Maxwell et les vues nouvelles sur la constitution atomique de l'électricité (1).

Cet accord dont nous n'avons pas à faire ressortir l'importance, est surtout l'œuvre de MM. Lorentz et Larmor. Le premier montra que l'assimilation de l'onde d'éther avec une onde électromagnétique, conduisait à voir une sorte d'excitateur dans une molécule qui émet de la lumière; les mouvements du corpuscule électrique déplacé de sa position d'équilibre équivalent à des courants (2). M. Larmor, prolongeant la théorie électromagnétique aux relations de l'éther et de la matière, fit de celle-ci un assemblage de centres électriques (3) : tous deux mirent en évidence la notion précise de particules élémentaires électriques, qu'ils traitaient résolument d'entités substantielles.

A partir de ce moment le branle-bas était donné : l'étude plus approfondie des rayons de Röntgen et de Becquerel, de la radioactivité et du phénomène Zeeman apportait d'ailleurs des arguments décisifs à la thèse particulaire. Parmi les travaux qui furent alors consacrés à la constitution granulaire de l'électricité, citons ceux de Lénard, de Wiechert et de Wien poursuivis dans les laboratoires allemands, et chez nous de MM. Jean Perrin, Villard et Langevin ; mais une mention toute spéciale est due à Sir J. J. Thomson et à ses distingués collaborateurs de l'école de Cambridge,

(1) Schuster, *Décharges de l'électricité dans les gaz* ; PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY OF LONDON, tome XLXII, 1890; une traduction de ce mémoire anglais a été donnée dans le recueil publié par la Société de Physique, sous ce titre : *Les quantités élémentaires d'électricité, Ions, Electrons, corpuscules* (Paris, Gauthier-Villars, 1905).

(2) Le premier mémoire de M. Lorentz a paru en 1892, dans les ARCHIVES NÉERLANDAISES : *La Théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants.*

(3) Larmor, PROCEEDINGS, 1894. L'éminent physicien a réuni ses principales publications dans son ouvrage, *Ether and Matter* (Cambridge, University Press, 1900 .

MM. Rutherford, C. T. R. et Harold Wilson, Townsend, Millikan, Kirkby, Hurst, etc., dont les noms reviendront souvent sous notre plume. Citons enfin en 1899, une étude originale de M. Drude sur la conductibilité des métaux (1).

Le siècle expirant légnait à son successeur une œuvre commencée, pour laquelle on avait déjà réuni de nombreux matériaux ; les fondations étaient jetées et assises sur un bon fond ; on connaissait le plan de la construction qu'elles allaient porter, on savait quel style serait suivi, et l'on devinait l'édifice dans ses grandes lignes : mais on n'ignorait pas qu'il faudrait beaucoup de temps et de grands efforts pour couronner son faîte et le rendre habitable.

Au Congrès international de physique, tenu à Paris, en 1900, lors de l'Exposition, une dizaine de rapports furent présentés, qui touchaient plus ou moins aux nouvelles théories sur l'Electricité (2) ; leur lecture permet de constater qu'elles avaient déjà conquis leur place au soleil, mais cette place leur était encore assez parcimonieusement mesurée. Toutefois, à partir de ce moment, elles allaient accaparer presqu'entièrement l'attention des chercheurs, et le grand public était saisi de la question par d'importants articles, mémoires et conférences de haute vulgarisation, publiés dans toutes les langues. Impossible de mentionner tous ces écrits ; nous n'en signalerons que quelques-uns, qui nous paraissent avoir exercé une influence plus considérable sur la marche des idées, ce sont : *Die Entwickelung*

(1) Drude, *Zur Elektronentheorie der Metalle ;* ANNALEN DER PHYSIK, nouvelle série, tome I, page 566.

(2) RAPPORTS PRÉSENTÉS AU CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHYSIQUE, réuni à Paris, sous les auspices de la Société française de physique ; 3 vol., Paris, Gauthier-Villars, 1900. Les rapports auxquels je fais allusion dans le texte portent les signatures d'Arrhenius, Drude, Exner, Lorentz, H. Poincaré, Righi, J. J. Thomson, Villard et Villari ; 77 rapports avaient été présentés au Congrès.

des Elektrons Begriffs, de Kaufmann (1) ; *Les hypothèses moléculaires* de J. Perrin (2) ; *Die Principien der Dynamik des Elektrons,* par Max Abraham (3) ; *La physique des Electrons*, par Langevin (4) ; *La théorie moderne des phénomènes électriques,* par Righi (5) ; *Sur les électrons*, par Sir Lodge (6) ; *La théorie corpusculaire de l'électricité,* de Drumaux (7); *Les idées modernes sur la constitution de la matière,* série de conférences faites à la Société de physique, en 1912 (8).

Tous les traités didactiques de physique consacreront désormais un ou plusieurs chapitres à la théorie de l'Electron, qui a pris le nom d'*Electronique*. Quelques auteurs, à l'imitation de M. Chwolson, sont éclectiques au point de conserver une place à la fois aux trois images des fluides de Coulomb, du milieu actif et passif de Faraday et des atomes d'électricité ; ils ne font usage de la dernière, qui est « encore trop à l'état d'ébauche » « qu'aux endroits où elle présentera des avantages très marqués sur les autres théories » (9) ; ils se tiennent sur une prudente réserve, en faisant observer que « chaque jour peut changer essentiellement la face de la question, et conduire à l'éclair-

(1) Physikalische Zeitschrift, 1er octobre, 1901 ; à ma connaissance, ce travail n'a pas été traduit en français.

(2) Revue scientifique, 13 avril 1901.

(3) Annalen der Physik, t. X, 1903, p. 105. M. Langevin en a donné une traduction dans *Ions, Electrons*, t. I, p. 1.

(4) Revue générale des Sciences, 30 mars 1905.

(5) Traduction Neculcéa ; édité par l'Eclairage Électrique, Paris, 1906 ; préface de M. Lippmann.

(6) Traduction Nugues et Peridier ; Paris, Gauthier-Villars, 1906.

(7) Paris, Gauthier-Villars, 1911 ; préface de M. E. Gérard.

(8) Ces conférences, au nombre de 10, ont été faites par MM. J. Perrin, Langevin, Bauer, Bloch, Blanc, Dunoyer, Me Curie, MM. Debierne, Weiss et Henri Poincaré ; cette dernière, qui est le couronnement des autres, est intitulée *Les rapports de la matière et de l'éther*. Ces conférences forment un fort volume in-8° de 370 pp., imprimé chez Gauthier-Villars, Paris, 1913.

(9) Chwolson. — T. IV, 1er fasc. p. 11, et t. V, 1er fasc. ; ce fascicule porte la date de 1914

cissement et à l'affermissement de ce qui apparaît encore obscur et chancelant à l'heure actuelle ». D'autres auteurs partagent le même sentiment de retenue vis-à-vis de la théorie corpusculaire, mais ne l'expriment pas : ils exposent la doctrine en laissant aux initiateurs la responsabilité de leurs thèses ; ils la défendent, en produisant des arguments auxquels ils laissent leur signature. Quelques-uns vont plus avant dans l'inconnu et ne croient pas se compromettre. Quoi qu'il en soit de ces attitudes diverses, on peut renvoyer utilement le lecteur désireux de se faire une opinion aux suppléments que M. Bouty a donnés à la *Physique* de Jamin (1), aux nouvelles éditions du *Cours d'Electricité* de Pellat (2) et des *Leçons de Physique* de Chappuis et Berget (3), au *Cours de Physique générale* de M. Ollivier (4), à la *Physique moderne* de M. Lucien Poincaré, déjà citée, et aux plus récents ouvrages, ayant la physique générale ou l'électricité pour objet.

Un professeur allemand, M. Graetz, de l'Université de Munich, a été plus résolument de l'avant, et il a écrit un Traité, basé sur la notion de l'électron ; plus clair qu'on ne s'y attendait, il est moins complet qu'on ne l'eût désiré. M. Léauté, qui avait présenté la traduction du livre aux lecteurs français, a loué l'initiative de l'auteur, en rappelant « le mystère que le sujet comporte encore » (5). M. l'abbé Tillieux a pénétré plus profondément au cœur de la question (6) : je ne sais

(1) Paris, Gauthier-Villars, diverses dates.

(2) Paris, Gauthier-Villars, 1908 ; le t. III porte en sous-titre les mots : Ions et Electrons.

(3) Paris, Gauthier-Villars.

(4) Paris, librairie scientifique Hermann et fils, 1913 : le t. I consacre sa cinquième partie à *l'Electron et les Ions*, pp. 517 à 673.

(5) Graetz. *L'électricité et ses applications ;* traduction Q. Tardy, faite sur la 15e édition allemande ; préface de A. Léauté. Paris, Masson et Cie.

(6) J. Tillieux. *Essai d'un Traité élémentaire de Physique*, selon les théories modernes ; 3e édition. Paris, Béranger, 1921.

si son remarquable ouvrage verra les 15 éditions du livre allemand, mais il les mérite mieux que lui et devrait être traduit dans toutes les langues alliées.

La doctrine moléculaire a conquis droit de cité dans la science électrique. Ce n'est point à dire qu'elle s'impose de tous points à notre adhésion, mais elle repose sur le roc de constatations définitives et présente de ce chef un progrès indiscutable sur les doctrines admises précédemment.

L'image, pour employer l'expression de M. Chwolson, n'est pas encore identique à la réalité objective, cela ne fait l'objet d'aucun doute, mais elle présente avec elle un trait fondamental de ressemblance, qui est fixé et qu'elle ne perdra plus. Pour le reste, l'ensemble est peut-être plus logique et plus harmonieux que fidèle.

Ce n'est pas une statue coulée en fin métal d'un seul jet et d'une pièce : elle est formée de parties assemblées et ajustées avec art, mais d'une inégale valeur intrinsèque, de résistance différente, qui braveront plus ou moins victorieusement les morsures de la critique et du temps ; toutefois l'œuvre n'a pas de pieds d'argile, et il ne suffira pas du choc d'une pierre roulante pour la coucher sur le sol.

Les granules d'électricité, dont on est parti, ne sont plus une vaine fiction, plus ou moins justifiée par la commodité de son emploi, un *objectum quo* recommandé uniquement par l'économie intellectuelle qu'il procure, un utile procédé de classification et de mnémotechnique. Ils ont une existence individuelle, dûment établie, à titre d'élément dernier dont nous ne connaissons pas encore de sous-multiples.

Ils nous fournissent la notion directe et immédiate d'une quantité, d'une charge : leur accumulation, leur distribution et leur mouvement dans les corps déterminent les propriétés de ceux-ci. L'éther, celui de Faraday et de Maxwell, continu physique remplissant

l'espace électromagnétique, pénétrant tous les corps, identique en ceux-ci à ce qu'il est dans le vide, subit leurs actions et les transmet ; mais il ne joue plus qu'un rôle d'intermédiaire, attendu que les granules sont les points de départ et d'arrivée des actions.

La notion d'un courant convectif ressort directement du mouvement des granules : il n'y a pas lieu de faire aucune différence entre l'effet de leur mouvement propre, à l'intérieur d'un corps en repos, et de leur mouvement de transport par un corps qui les entraîne avec lui dans sa course. Le déplacement des granules, au sein d'un diélectrique, produit des effets analogues à ceux d'un courant dans un conducteur.

Un aimant modifie la forme de leur trajectoire.

Tout rayonnement ondulatoire est à rapporter à leurs vibrations. Un granule à vitesse variable, devient le centre d'un rayonnement à chacun de ses changements de vitesse : il fonctionne à l'instar d'un excitateur et engendre des ondes électromagnétiques.

Chaque particule a sa période de vibration, qui dépend de sa masse et de ses attaches. Une radiation incidente fait vibrer par son choc l'élément électrique, et celui-ci entraîne dans son mouvement l'atome auquel il est lié. Cet entraînement est d'autant plus facile que la période de vibration naturelle de l'atome est plus voisine de celle de la radiation reçue. Il y a cession d'énergie de la part de l'onde et transformation ultérieure.

On expliquera de la sorte les phénomènes d'absorption et de dispersion. L'effet exercé par un aimant sur la valeur de la période du granule se manifeste par l'influence du champ sur les radiations et donne la raison des actions électro- et magnéto-optiques.

Telles sont les idées-mères de l'Electronique, le *leit-motiv* de sa doctrine générale. Il était nécessaire d'en tracer les lignes directrices, avant d'en commencer

l'étude et de s'engager dans ses détails. Le visiteur d'une ville, avant de s'enfoncer dans le dédale de ses rues, gravit d'abord un point élevé, d'où son regard embrasse la vaste étendue des constructions ; ce n'est qu'après avoir décomposé l'agglomération en un certain nombre de secteurs, dont il a reconnu la physionomie particulière, qu'il tracera le programme de ses pérégrinations. Nous avons acquis de même une notion d'ensemble du vaste et riche domaine qui s'ouvre à nos explorations et nous pouvons en dresser le plan.

Ce qu'il nous faudra établir, c'est la réalité de l'existence matérielle de l'électricité et de sa constitution granulaire ; elle affecte la forme de particules, que nous dénombrerons, dont nous déterminerons la masse et la charge, en essayant de nous en représenter la constitution intime et en montrant de quelle manière elles se prêtent à la construction d'une théorie nouvelle de l'électricité, de la théorie électronique. Ce faisant, nous aurons rempli la tâche que nous nous étions proposée dans ce travail.

L'hypothèse de la dissociation électrolytique d'Arrhenius avait donné la clef des phénomènes d'électrolyse : une décomposition plus ou moins complète de la substance électrolysable préexiste au passage du courant ; les molécules ne sont pas séparées en ions par le courant, elles le sont déjà par le fait même de la dissolution, dans un solvant à grand pouvoir inducteur spécifique. Les molécules sont scindées en deux atomes ou groupes d'atomes possédant des charges égales, mais de signe contraire. La charge par valence d'ion est une quantité fixe et invariable e, égale à $1{,}4.10^{-20}$ U.E.M. ou $4{,}1.10^{-10}$ U.E.S. Chaque atome porte cette charge, une fois, deux fois, trois fois ; nous n'en connaissons que des multiples entiers et pas de sous-multiples. Ces ions, rendus libres par la dissolution, errent dans le liquide, s'y heurtent et s'y brisent, et se

recombinent avec leurs débris ; malgré ces unions et ces désunions incessantes, le nombre des molécules dissociées ne varie pas, tant que le degré de dilution ne change pas. Le liquide se trouvant en cet état, qui est un état d'équilibre, est dit *ionisé* et nous savons bien ce que ce mot veut dire : sa fortune a été grande, parce qu'il est clair, et qu'il représente une idée dont nous voyons les résultats. Nous nous représentons ce qui se passe quand on plonge dans le bain ionisé deux électrodes conductrices + et —, le cheminement inverse des ions avec leurs charges et leur neutralisation, quand ils arrivent au terme de leur excursion. Au moment où la charge est cédée à l'électrode, elle se trouve momentanément sans support : cela ne s'entendrait pas d'une manière d'être ou d'une déformation de l'éther. Ce quelque chose qui se porte de l'ion à l'électrode, nous apparaît, avec une individualité propre : son existence est aussi réelle que celle de l'atome matériel qu'il vient de quitter ; il est aussi indivisible et aussi insécable que lui. L'électricité qui se sépare ainsi de l'ion, c'est une particule, un grain, un granule, disons le mot, c'est l'atome d'électricité : « cette unité naturelle, écrivait sir Lodge, dès 1886, » dans ses *Modern Views on Electricity*, est appelée » avec raison un atome d'électricité, attendu qu'en » dessous d'elle nous ne connaissons rien. »

Le transport de ces atomes entre les électrodes constitue le courant, qui est un phénomène de convection. *A priori* on serait porté à y voir un double mouvement des quantités + vers la cathode, — vers l'anode, mais on peut admettre aussi qu'il n'y a qu'un mouvement des quantités négatives vers l'anode. Voici pour lors comment nous nous représentons le phénomène. L'ion négatif serait le seul qui puisse se dépouiller de sa charge ; il apporterait à l'anode et y déposerait son granule d'électricité : du côté opposé au contraire, l'ion

positif ne céderait rien à la cathode, mais il en recevrait un granule. En d'autres termes, l'ion négatif se neutraliserait par perte de sa charge, alors que l'ion positif le ferait par acquisition d'une charge de signe contraire à la sienne. Au demeurant, il n'y aurait que des granules électriques négatifs, qui soient à l'état de liberté, et qui passent d'une molécule à l'autre. Ces granules, ces atomes négatifs d'électricité, ce *substratum,* dont l'existence n'est plus douteuse pour nous, c'est la chose à laquelle nous réservons le nom d'*Électron,* mis en usage par Stoney.

Lorsque désormais nous parlerons d'électrons, nous aurons uniquement en vue cette charge négative *e,* indivisible, seule libérable, neutralisant une molécule par sa présence, laissant derrière elle, après son départ, un ion positif de même quantité. L'électrisation positive ne serait donc pas attribuée à la présence d'un second substratum différent du premier, mais à la soustraction d'un nombre déterminé d'électrons. Le mot d'ion positif (nous dirons ion tout court, comme nous dirons électron tout court) revêt ainsi un sens nouveau, très spécial, bien défini ; il ne faut pas le confondre avec l'ion électrolytique de Faraday.

L'électronique est la théorie de l'électricité, fondée sur les considérations que nous venons d'exposer : elle repose sur le fait de l'existence d'un atome électrique.

Ce concept atomique de l'électricité a donc surgi très naturellement de l'étude de l'électrolyse, qui nous a fourni l'image la plus compréhensive de la conductibilité électrique des liquides.

Mais l'électrolyse ne nous a servi que d'entrée en matière : la méthode, à laquelle elle nous a initiés, peut être développée et perfectionnée ; elle nous permettra de préciser nos précédentes conclusions, tout en les basant sur des fondements moins hypothétiques. Elles ont été formulées avec une netteté, qui ne laisse plus

grand'chose à désirer. L'électron va nous apparaître à l'état libre, existant par lui-même, sans support matériel nécessaire, à l'état libre, possédant une individualité propre, au point de servir de noyau à une masse de matière ; on ne pourra plus lui refuser une réalité objective. Nous nous trouverons en présence d'un fait, non plus d'une image ; la structure granulaire sera établie par des preuves directes.

Ces preuves sont multiples et de diverse nature.

Les premières dans l'ordre chronologique, sinon logique, reposent sur la faculté que possèdent les gaz de conduire un courant. Nous commencerons par elles.

En leur état naturel et normal, les gaz sont de très médiocres conducteurs de l'électricité ; mais l'intervention de certaines énergies étrangères peut leur communiquer à un haut degré cette propriété de conduire : on énonce ce résultat en disant que les gaz sont *ionisés*, en empruntant l'idée et le mot aux études électrolytiques exposées ci-dessus. On admet en effet que, dans les gaz, les choses se passent comme dans un liquide électrolysable. Leur conductibilité est due à la présence d'électrons libres et aux mouvements dirigés qu'ils prennent sous l'action des forces électriques. L'ionisation produit les mêmes résultats que la dissolution : elle divise en ions + et en électrons — un certain nombre des atomes ou molécules du gaz.

Ce ne fut d'abord qu'une hypothèse ; mais cette hypothèse, qui imagine une convection correspondant à un mouvement de particules électriques au milieu des molécules matérielles, expliquait très simplement et sans difficulté les faits connus ; en voici un entre beaucoup d'autres, que nous interpréterons pour exemple. Faisons passer un gaz ionisé entre deux conducteurs parallèles chargés de signe contraire comme le sont des armatures de condensateur, ou bien forçons-le à traverser un tampon de coton ou des tubes

capillaires, ou bien encore faisons-le barboter dans un liquide conducteur, et nous constaterons que le gaz a perdu sa conductibilité ; c'est que les conducteurs, la matière du tampon, la paroi des tubes, la surface des bulles dans le liquide ont retenu les particules d'électricité par attraction ou par adhésion ; le gaz en a été dépouillé, de même qu'on l'eût débarrassé par filtrage des poussières et des corps étrangers.

La manière spéciale dont un gaz ionisé transmet un courant électrique est en parfait accord avec notre hypothèse. Formons en effet un circuit composé du condensateur employé ci-dessus, d'une pile constante et d'un électromètre, et ionisons l'air compris entre les deux armatures : l'intensité du courant qui passe et que mesure l'électromètre témoigne de la conductibilité acquise par l'air et permet d'apprécier ses variations. Or, cette conductibilité présente une particularité déconcertante de prime abord : elle ne suit pas la loi d'Ohm. En effet, augmentons le voltage de la source, toutes choses égales d'ailleurs ; l'intensité du courant qui passe devrait augmenter proportionnellement à la différence de potentiel établie entre les armatures ; or, il n'en est rien. Bien plus, cette différence de potentiel croissant de plus en plus, la conductibilité croît de moins en moins, et elle finit par atteindre une valeur limite, dite limite de *saturation*. Aucune théorie antérieure ne permettait d'expliquer ce phénomène : mais notre hypothèse aurait pu le faire prévoir ! Il y a une limite supérieure à la conductibilité, une limite de saturation, parce qu'à un moment donné l'ionisation est achevée, par manque de nouveaux éléments à dissocier et parce qu'il n'y a plus d'ions disponibles. L'explication est aussi simple qu'elle est rationnelle et péremptoire : on ne saurait du reste en trouver aucune autre.

Mais voici qui est mieux encore : l'observation est

due à MM. Righi, J. J. Thomson et Rutherford ; elle remonte à l'année 1896. Écartons les armatures du condensateur de l'expérience précédente, *aliis non mutatis :* la longueur du circuit résistant croît, l'intensité du courant devrait diminuer : au contraire, elle augmente. Pourquoi ? En augmentant la distance qui sépare les armatures, on a fait croître le volume de la masse d'air ionisé intéressé au phénomène : le nombre d'ions a par suite été multiplié et le courant de saturation a crû du même coup.

Combien d'autres phénomènes d'apparence mystérieuse ou paradoxale perdent leur étrangeté, quand on se représente que la conductibilité spéciale du gaz est due à la présence de particules électriques qui se glissent et se faufilent entre les molécules, se heurtent contre elles, s'y brisent, pour se recombiner l'instant d'après, sans que leur nombre dépasse une certaine limite en rapport avec l'influence ionisante : on comprend l'impossibilité d'extraire d'un gaz plus qu'une quantité déterminée d'électricité, quelle que soit l'intensité du champ que l'on fait agir ; on conçoit que la conductibilité, développée par l'ionisation, disparaisse, quand cesse de s'exercer la cause libératrice des électrons, par suite de recombinaisons progressives des électrons avec les molécules dont ils ont été détachés ; le nombre des éléments libres subit, au cours de leurs collisions, la loi du temps.

Déplacez une masse d'air ionisé, sa faculté conductrice l'accompagne ; ionisez une masse en un seul point, les électrons se diffuseront dans tout l'espace qu'elle occupe, et la conductibilité gagnera toute son étendue, alors même que l'enceinte qui la renferme serait divisée en compartiments par des cloisons ; pourvu que celles-ci soient percées de quelques trous, par lesquels ces granules trouveront le moyen de passer, ainsi que M. Schuster l'a démontré.

Ce physicien appartient à cette célèbre école de Cambridge, formée et dirigée par M. J. J. Thomson, à laquelle nous sommes redevables de si nombreuses expériences, aussi remarquables par la science qui les a inspirées que par l'ingéniosité et l'habileté qui ont permis de les mener à bonne fin.

Parmi celles-ci nous placerons en premier rang les recherches de MM. Harold et C. T. R. Wilson, qui ont fait voir et permis de dénombrer ces particules, en observant certains phénomènes de condensation de la vapeur d'eau dans l'air ionisé : au témoignage de Sir Lodge, « c'est une des études les plus brillantes qui » aient été poursuivies en ces dernières années dans le » domaine de la physique expérimentale » (1) ; nous ne contredirons pas cet éloge, qui n'est pas exagéré.

Développant les idées de nos compatriotes Gernez et Coulier, M. Aitken avait fait, en 1880, une curieuse découverte : le brouillard a besoin, pour se former, de trouver dans l'air des noyaux solides qui servent de germe et de centre à ses vésicules ; il ne se produirait qu'une légère condensation de vapeur dans une atmosphère parfaitement pure et totalement purgée de poussières, et le point de rosée n'y apparaîtrait pas, l'espace fût-il même sursaturé de vapeur ; mais l'introduction de particules solides y amorce incontinent une condensation. En dépouillant l'air plus ou moins entièrement des poussières folles qu'il renfermait, par une suite de filtrages répétés à travers des tampons d'ouate, M. Aitken a montré que le brouillard, après avoir présenté d'abord l'apparence de celui de Londres, finit par l'opacité légère que les Anglais vont admirer dans l'atmosphère limpide des lacs d'Écosse. (2)

(1) Lodge, *loc. cit.*, page 106 : « il ne faudrait pas beaucoup nous pousser, ajoutait-il plus loin, pour nous faire biffer les mots, en ces dernières années. »

(2) Le mémoire de M. Aitken publié dans les TRANSACTIONS d'Edimbourg, portait le titre significatif de *Dust, Fogs and Clouds* : Poussières, brouillards et nuages.

M. C. T. R. Wilson avait étudié cet intéressant phénomène en 1897, et il avait cherché à établir quelle détente adiabatique (c'est-à-dire accompagnée de refroidissement) était nécessaire pour donner lieu à une condensation sensible dans un air débarrassé de poussières, sursaturé au degré 8, ce qui signifie que la densité de sa vapeur est 8 fois celle de la vapeur saturante, dans les mêmes conditions : il constata que le rapport du volume final de détente au volume initial pouvait atteindre 1.38 sans que le brouillard y fût visible : il devenait très dense pour une détente légèrement supérieure.

Or, des considérations théoriques avaient conduit M. J. J. Thomson à déclarer qu'une charge électrique devait favoriser la condensation (1) : M. Wilson fut amené ainsi à observer la détente d'un gaz ionisé, et il découvrit qu'un gaz sursaturé au degré 4, subissant une détente 1,25, était envahi par un épais brouillard. Des électrons provoquent donc une condensation dans les gaz, à l'instar de ce qu'y opèrent des poussières solides. De là à affirmer que l'électricité présente une structure granulaire, il n'y avait qu'un pas à faire : M. Wilson ne le laissa pas faire à d'autres, et il procéda sans tarder à une contre-épreuve décisive. Par l'introduction de conducteurs électrisés, il est possible d'éliminer les électrons d'une région d'un gaz et de les refouler dans une autre : or, d'un côté, l'apparition du brouillard est retardée au point d'y être presque supprimée, alors que de l'autre il se produit une condensation abondante.

(1) Lord Kelvin avait d'abord démontré que la tension superficielle d'une très fine gouttelette est telle qu'elle ne pourrait conserver l'état liquide, mais que la tension opposée déterminée par l'électrisation en retarde la vaporisation. M. J. J. Thomson a développé cette théorie et il a prouvé que la charge naturelle de l'électron suffisait pour qu'un sphérule atomique échappât à la vaporisation. L'étude de Wilson a paru dans les PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS sous le titre *Condensation of Water Vapour in the presence of dust-free air and other gases ;* année 1897.

L'expérience suivante permet de faire constater à une nombreuse assemblée la condensation que provoquent les électrons. Projetons sur un écran l'ombre d'un jet de vapeur qui s'échappe du col effilé d'un ballon dans lequel on fait bouillir de l'eau : si la vapeur est bien sèche et que nous employions un puissant foyer de lumière, le jet est presque invisible et il marque à peine sur la blancheur de la toile la trace de son passage. Mais que l'on y introduise un conducteur terminé en pointe, et qu'on en fasse jaillir une aigrette d'électricité négative, et voici qu'aussitôt il se forme dans l'air un épais panache de fumée blanche et un nuage opaque dessine une ombre noire dans la projection. Il est aisé de constater que son opacité croît avec l'intensité du flux d'électricité s'écoulant de la pointe, comme si le nombre de gouttelettes condensées était égal au nombre de grains d'électricité, qui ont provoqué l'apparition du phénomène.

Plus récemment, M. Wilson a même réussi à suivre au sein d'une vapeur l'effet condensant d'un électron traversant sa masse : il a montré et photographié la trajectoire d'un rayon ionisant, lancé dans un air humide subitement détendu et aussitôt illuminé par une étincelle provenant de la décharge d'une forte batterie de jarres ; on la fait éclater dans un tube de quartz, rempli de mercure, à l'effet de lui donner un énergique pouvoir actinisant. Chaque électron libéré s'entoure d'une gouttelette liquide, qui devient un point brillant au sein du nuage de condensation : ces points sont trop rapprochés pour être vus distinctement ; mais ils dessinent des traînées lumineuses, très fines, extrêmement nettes et brillantes, qui se prêtent bien à la photographie. Le mémoire de M. Wilson reproduit un certain nombre de ses clichés, pris dans des conditions diverses : ce sont de véritables bouquets de feux d'artifice ; on croirait assister à un tir de nuit à boulets rouges et l'on

ne peut se soustraire à l'impression qu'on a vu de ses yeux une émission de particules électriques (1).

Aucune difficulté ne rebutait les physiciens du laboratoire Cavendish de Cambridge : entraînés par leur éminent directeur J. J. Thomson, ils ont eu toutes les audaces, et on les a vus entreprendre de compter les gouttes d'eau et de mesurer leur diamètre : et ils y ont réussi ! Wilson, partant du fait que ces gouttes doivent avoir une grosseur uniforme, observait d'abord un point lumineux à travers le brouillard et il mesurait les rayons des anneaux de diffraction (2) ; mais le procédé ne pouvait conduire à des résultats exacts, et on l'abandonna, pour s'arrêter à la méthode que voici. Soit à dénombrer les électrons contenus dans une certaine masse d'air saturée de vapeur d'eau, sous une température et une pression connues. On produira la détente 1,28, pour laquelle tous les électrons sont certainement devenus des noyaux de condensation ; un brouillard se formera ; chaque électron donnera une goutte. Celles-ci tombent toutes ensemble, puisqu'elles sont identiques entre elles, et l'on peut suivre toutes les phases de la chute, en maintenant le regard fixé sur la partie supérieure, nettement définie, comme elle l'est pour un brouillard d'automne, qui se rassemble au fond d'une vallée : la vitesse du mouvement du plan supérieur du nuage correspond à la vitesse individuelle de chute des vésicules dont il se compose. Un calcul élémentaire donne la masse totale de la vapeur constituant le brouillard : il suffit de connaître la température de l'air et sa

(1) Ce remarquable et très intéressant travail a été publié, en 1912, dans les PROCEEDINGS de la Société Royale de Londres, sous le titre : *Description d'un appareil de détente permettant de rendre visibles les trajectoires des particules ionisantes dans les gaz et de quelques résultats, obtenus par son emploi.* Il a été reproduit avec ses planches de clichés dans le JOURNAL DE PHYSIQUE en 1913, page 529.

(2) L'ériomètre de Young et l'appareil de Delezenne donnent les diamètres des globules en fonction des rayons des anneaux.

pression avant et après la détente et le degré de cette détente (1). Si nous pouvions connaître le volume de la sphérule et par suite sa masse, nous aurions le moyen de déterminer le nombre des sphérules d'eau précipitées : or la loi connue de Sir Stokes permet de déduire de sa vitesse de chute le rayon d'une sphère, tombant en chute libre dans un air de viscosité déterminée (2). Cette numération des gouttes a été effectuée par M. J. J. Thomson : il a trouvé qu'en certaines expériences le nombre des gouttelettes formées pouvait se monter à près de 100.000 au centimètre cube ; la masse d'eau qui les formait ne dépassait pas un deux-centième de milligramme et le rayon des gouttes était de l'ordre du micron (millième de millimètre).

Il vint alors à l'esprit de M. J. J. Thomson et de ses élèves Wilson, Millikan, Roux, etc., une de ces idées qui illustrent un physicien, quand il réussit à les mettre à exécution. Ces gouttes, se dit-on, constituées par la robe liquide d'un centre électrique, portent le signe de ce centre et subissent comme lui l'action d'un champ électrostatique; que le brouillard s'abatte dans un champ vertical, sa chute sera accélérée ou retardée, suivant la direction du champ et le signe de l'atome

(1) Soient t la température de l'air avant la détente et t' la température finale après la condensation de la vapeur, à la suite de la détente n, de l'abaissement de température qui en est d'abord résulté et du réchauffement consécutif au changement d'état de vapeur en eau ; on trouve dans les tables les poids de vapeur contenus dans un centimètre cube d'air aux températures t et t' ; appelons-les π et π'. Le poids condensé est donné par la différence $\frac{\pi}{n} - \pi'$.

(2) En 1849, Sir Stokes avait étudié la chute de sphères solides dans un fluide visqueux sous l'action de leur poids : la vitesse ne tarde pas à atteindre une valeur limite à laquelle la résistance visqueuse équilibre l'action de la pesanteur ; cette vitesse est pour lors constante, et elle est fonction de l'excès de densité des sphères sur celle du milieu et de leur rayon. Cette relation, pour une goutte d'eau dans l'air, affecte la forme $r = \frac{q\sqrt{v}}{10^4}$, r étant le rayon et v la vitesse en centimètres par seconde. Celle-ci est de l'ordre d'un dixième de centimètre (1 millimètre) par seconde.

électrique : on organisa donc une expérience dans le but d'obtenir un ralentissement dans la chute. Le résultat répondit aux prévisions ; le laboratoire Cavendish remportait un nouveau triomphe.

M. Millikan opéra ensuite sur des gouttelettes d'huile, formées par pulvérisation, et électrisées par le fait (1); M. Roux fit mieux encore en observant la chute de sphérules solides, dont les mouvements sont plus simples, et il les fit tomber au sein d'un liquide ; il employait des particules de soufre dans du xylol saturé (2) ; en recourant à un éclairage latéral, on les voyait constituant des points brillants dans le champ d'une lunette-viseur à oculaire micrométrique. On arrivait à régler si bien leur chute et à la modérer de telle façon qu'on les conservait pendant des heures dans le champ du viseur : c'était une question d'intensité de champ. Soient en effet H l'intensité de ce champ, E la charge de la goutte, m sa masse, w et w' les vitesses de chute, sous l'action de la seule pesanteur, puis sous cette action et celle du champ ; il n'y a qu'à écrire que les vitesses sont proportionnelles aux forces $\frac{w}{w'} = \frac{m\,g}{m\,g - \mathrm{H\,E}}$ et l'on voit comment w' dépend de H.

Mais cette équation a une portée beaucoup plus grande qu'il ne paraît d'abord : en effet, de la connaissance de m et de H, et de l'observation des deux vitesses w et w', on peut déduire la valeur de E ; et cette charge (quelle admirable concordance !) est toujours un multiple entier de la charge e de l'atome monovalent, qui nous avait déjà présenté en électrolyse le

(1) M. Millikan a résumé l'ensemble de ses travaux dans un article de la PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT, tome XI, 1910. Les gouttelettes d'huile qu'il observait avaient un diamètre de 3 à quelques dizaines de microns ; l'intensité des champs variait d'une expérience à l'autre ; la différence du potentiel entre les armatures n'était pas inférieure à 3000 et ne dépassait pas 8000 volts.

(2) ROUX, *Charge de l'électron* ; COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, 1911, 1er semestre, page 1168.

caractère d'une constante universelle (1). Ce caractère, la charge e le possède désormais à nos yeux d'une façon indéniable, car sa valeur est toujours la même, quel que soit le gaz ou le liquide au sein duquel la sphérule se précipite, et quelles que soient la dimension, la masse, la forme ou la nature de cette particule. Parfois, il est vrai, au milieu d'une observation, tout d'un coup, sans cause connue, sans que rien ne le fasse prévoir, la vitesse change brusquement ; que l'observateur ne s'en trouble pas ; qu'il mesure avec soin la nouvelle vitesse ; notre équation lui apprendra qu'alors la charge E a augmenté ou diminué, non pas d'une quantité quelconque, mais qu'elle a gagné ou perdu une, deux, trois ou n fois la valeur de e. C'est le granule qui s'est annexé ou qui a laissé échapper des électrons. La variation ne procédant jamais par fraction de e, il faut croire que e est indivisible, et insécable, comme l'atome d'autrefois.

Les conséquences que nous déduisons de ces expériences s'imposent aux esprits les plus positifs et les plus circonspects : « Nous concluons, disait M. Langevin, » en 1912, à l'existence certaine du grain d'électricité » et de plus à son identité dans les électrolytes et dans » les gaz conducteurs » (2). La profession de foi était catégorique : aucun physicien n'a protesté, et pour cause.

C'est qu'en effet de nombreux arguments, non moins décisifs, d'une saisissante convergence, sont venus confirmer et mettre au-dessus des doutes pragmatistes cette notion de l'électron, constituant un individu dont la charge négative est indivisible, comme il l'est lui-même.

L'étude des tubes à vide va nous le faire voir, détaché de la matière dans son isolement, et se manifestant à nous avec ses propriétés caractéristiques.

(1) En unités pratiques cette charge est de 40 sextillionièmes de coulomb.
(2) Loc. cit. : *Les grains d'électricité*, page 57.

Maxwell avait prédit que les décharges à travers les gaz jetteraient « une grande lumière sur la nature de l'électricité » (1) ; il se basait sur ce que la coupure du courant dans un fluide gazeux permettait mieux que la coupure dans un liquide, de suivre les phénomènes dans leur développement et d'analyser leurs particularités. Les gaz sont des édifices moléculaires bâtis sur un plan plus simple et plus uniforme. Le bénéfice résultant d'une moindre complexité du milieu était immédiat ; on évitait de plus certaines actions secondaires, masquant souvent les actions principales. Enfin, la théorie cinétique apportait à ces études le concours de ses représentations suggestives, connues de tous, de ses calculs de vitesse et de longueur du chemin moyen des molécules et de ses statistiques.

Pour que ce concours devînt réellement utile, il eût fallu ne s'inspirer que des grandes lignes du modèle, sans s'y asservir trop entièrement ; il eût convenu d'autre part de ne pas trancher des questions dont l'étude expérimentale ne faisait que débuter. Il était logique d'attribuer l'énergie des rayons cathodiques à un phénomène de convection ; mais qu'est-ce qui se mouvait ? L'hypothèse d'un bombardement effectué par les molécules mêmes du gaz, électrisées au contact de la cathode, puis repoussées par elle, voyageant avec une vitesse de quelques centaines de mètres (la vitesse de la théorie cinétique) variable d'un gaz à l'autre, suffisait pour expliquer les premières apparences ; mais il ne fallait pas la serrer de trop près. Elle donnait la raison d'une déviation des rayons cathodiques par un conducteur électrisé ou par un pôle d'aimant, mais rien ne faisait prévoir que cette déviation serait la même dans n'importe quel gaz, comme on le découvrit bientôt. Reconnue inutile, puis insuffisante sur de

(1) Maxwell, loc. cit. : *Traité*, page 65.

nombreux points, gênante en d'autres, la théorie de Crookes perdit la confiance de ses adhérents les plus convaincus et elle fut généralement délaissée.

Wiedemann, Jaumann, Goldstein et d'autres physiciens allemands, auxquels Hertz et Lénard apportèrent l'autorité de leur savoir et de leur nom, s'étaient montrés dès le début réfractaires aux idées de Crookes, surtout parce qu'elles étaient émissionistes, alors qu'eux restaient fidèles à la thèse ondulatoire. Ils ne manquaient pas d'arguments. Goldstein le premier avait fait observer en 1880, (1) que la longueur de l'espace noir cathodique était cent fois plus longue que le chemin moyen des molécules calculé d'après la théorie cinétique, et cette remarque mettait en déroute la technique des mouvements particulaires ; on invoquait en vain le supplément d'énergie provenant de la répulsion exercée par la cathode sur ces charges de même signe; l'objection subsistait toujours. De son côté, Hertz découvrit en 1883, (2) qu'une feuille d'or battu était perméable aux rayons cathodiques. Cette nouvelle constatation avait une importance capitale dans la question : sur la suggestion de son maître, Lénard s'attacha à élucider la question de la propagation du flux cathodique dans divers milieux, et il entreprit une série de travaux, qui l'ont rendu célèbre (3).

Tout le monde connaît son expérience classique de la fenêtre, pratiquée dans la paroi du tube à vide et fermée par une feuille d'aluminium, d'un quart de millimètre d'épaisseur, capable de supporter la pression de l'atmo-

(1) Goldstein, COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DE BERLIN. 1880.

(2) Hertz, *Ueber den Durchgang der Kathodenstrahlen durch dünne Metalschichten ;* ANNALEN DER PHYSIK, t. XLV, 1892.

(3) Les travaux de Lénard sont traduits et analysés en partie dans le premier volume de *Ions, Électrons, Corpuscules ;* particulièrement les articles suivants parus dans les ANNALEN : *Ueber Kathodenstrahlen von atmosphaerischen Druck und in aeusserstem Vacuum,* tome II, 1894 ; *Ueber die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen,* tome III, 1894.

sphère extérieure. Nés dans l'ampoule de verre, les rayons cathodiques frappent les murs de leur prison transparente, les rendent phosphorescents, mais ne les traversent pas : traverseraient-ils la lamelle d'aluminium ? Lénard dirigea sur elle le bombardement rectiligne, issu de la cathode, et il se mit en observation derrière elle. Impossible d'en douter : les rayons passaient à travers le métal, sortaient du tube et continuaient leur marche au dehors. En faisant une obscurité profonde dans le laboratoire, on apercevait une lueur diffuse émanant de la fenêtre ; elle se répandait dans l'air et restait nettement visible jusqu'à une distance de près de 50 millimètres. On pouvait suivre au delà la trace des rayons par la phosphorescence qu'ils faisaient naître sur un papier imprégné de pentaparolylcétone et par leur action photographique. A l'effet de varier le plus possible les conditions de l'expérience, et de faciliter les constatations, en même temps qu'on les précisait, Lénard fit alors souder au tube à vide un second tube normal à la paroi, sur lequel débouchait la lucarne ; on pouvait y introduire des gaz et des vapeurs et en faire baisser la pression d'une valeur quelconque au vide le plus parfait. Or, les rayons extradés du tube de Crookes (on les appellera maintenant les rayons de Lénard), franchissent le vide et le laissent subsister, ce qu'ils ne feraient pas, s'ils étaient constitués par un flot des molécules du gaz. Assez pénétrants pour percer une minuscule lamelle d'aluminium, ils sont arrêtés par une épaisseur d'air de quelques centimètres : les substances rencontrées sur leur chemin leur font obstacle en fonction de leur densité, c'est-à-dire du nombre de particules qu'il leur faut bousculer pour se frayer un passage. C'est conforme aux prévisions cinétiques, et le fait constitue un argument en faveur de la thèse d'un bombardement ; mais, il ne permet plus de supposer un bombardement

effectué par des molécules, attendu que, dans l'air, pris sous 760 millimètres de pression, il existe quelque mille milliards de molécules par centimètre cube (1) ; c'est beaucoup plus qu'il n'en faut pour constituer un rideau impénétrable à des molécules matérielles. Bref : les résultats de ces expériences étaient défavorables à l'hypothèse de Crookes.

Du moment qu'ils démontraient que les rayons n'étaient pas un mouvement des molécules mêmes du gaz, nos savants, qui se croyaient en face d'un dilemme, se voyaient confirmés dans leur opinion ondulatoire, qui plaçait dans l'éther lui-même le siège de l'énergie mise en jeu.

Une dernière observation de Goldstein et de Lénard acheva de les illusionner en paraissant assurer le triomphe de leurs vues : les rayons de Lénard communiquent aux gaz qu'ils traversent une certaine conductivité électrique (ils les ionisent), et ils déchargent un électroscope absolument comme le fait une radiation ultraviolette, qui procède indubitablement par ondes : cette analogie étroite, jointe à l'identité de phosphorescence développée dans les deux cas, fit pencher momentanément la balance du côté de la théorie ondulatoire.

Acculée dans ses derniers retranchements, celle-ci luttait désespérément pour son existence : elle saisit l'argument au vol et l'exploita.

Toutefois c'étaient des ondes bien étranges que ces ondes, sensibles aux attractions électrostatiques, obéissant à l'action d'un pôle d'aimant, dessinant dans les champs des trajectoires paraboliques, circulaires, quelquefois hélicoïdales (nous les étudierons plus loin), éteintes par un parcours de quelques centimètres dans

(1) Dans le vide du tube de Crookes, il n'y a plus que quelques millions de molécules par centimètre cube.

une atmosphère gazeuse, jouant pour elles le rôle d'un milieu trouble, etc. M. J. J. Thomson démontra d'abord, pour ce qui est de la forme des trajectoires décrites par les rayons cathodiques, quand ils se déplacent à travers un champ magnétique, qu'aucune tentative d'explication n'était rationnelle dans la théorie énergétique (1), c'est-à-dire dans l'hypothèse des ondes : une hypothèse qui ne permet même pas de tenter une justification n'a aucune raison d'être conservée.

Une expérience décisive prouva du reste bientôt que l'existence de ces ondes était inadmissible : cette belle expérience est due à un savant français, dont nous avons déjà prononcé le nom, M. Jean Perrin (2). Les travaux des physiciens d'Outre-Rhin n'avaient pu le convaincre et il avait gardé une entière confiance dans les vues émissionistes de l'école anglaise. Les objections présentées contre leur thèse du bombardement, ne s'adressaient pas au fait en lui-même d'un transport de projectiles, mais à la nature et à la qualité des projectiles transportés. C'était là ce qu'il fallait étudier.

M. Perrin imagina donc de diriger ces projectiles vers un appareil, qui permît de reconnaître ce qu'ils portaient en eux et sur eux, et il construisit un tube de Crookes, dont l'anode était formée de deux cylindres métalliques concentriques ouverts tous deux à l'avant, clos à leur extrémité postérieure ; le cylindre extérieur était maintenu en communication permanente avec le sol, et il possédait par suite les propriétés d'un écran électrique parfait à l'égard du cylindre qu'il enveloppait ; celui-ci était relié à un électroscope,

(1) J. J. Thomson, *Les décharges électriques dans les gaz* ; traduction Barbillion (Paris, Gauthier-Villars, 1900) ; page 144.

(2) M. J. Perrin a communiqué ses premiers résultats à l'Académie des Sciences, en décembre 1895 : son travail a fait l'objet d'une thèse de doctorat ; elle a paru dans les ANNALES DE PHYSIQUE ET CHIMIE, 7e série, tome XI.

dont la cage était elle-même au sol. La cathode envoyant un pinceau de rayons dans ce système de cylindres, dans lequel le lecteur a reconnu un cylindre de Faraday, l'électroscope accusait aussitôt un apport d'électricité, et cette électricité était invariablement de signe négatif, quelles que fussent les conditions de l'expérience. Déplaçait-on le cylindre anode, ou bien faisait-on dévier les rayons, de sorte qu'ils n'y pénétraient plus, à l'aide d'un aimant ou autrement, aussitôt l'électroscope cessait de rien marquer ; il marquait de nouveau, dès que le pinceau le retrouvait ; l'interposition d'une lamelle d'aluminium ne l'empêchait pas de marquer, et « j'ai pu, disait M. Perrin, faire apporter » à l'intérieur d'une enceinte absolument close cent » unités électrostatiques : le transport de charges » négatives est donc inséparable des rayons catho- » diques » (1).

Et il concluait que cette électrisation était « difficile- » ment conciliable avec la théorie des ondulations » ; il eût pu être plus catégorique et déclarer qu'elle était absolument inconciliable avec elle, car ce rayonnement n'avait plus rien de commun avec la propagation d'ondes. Avec une franche simplicité, que l'on ne rencontre que chez les hommes de science de haute valeur, Lénard fut un des premiers à déclarer que l'opinion qu'il avait soutenue ne pouvait plus l'être ; il répéta l'expérience de M. Perrin sur les rayons cathodiques, amenés hors des tubes à vide par le procédé de la lucarne, et il se rallia loyalement aux physiciens, qui attribuent les rayons cathodiques à un mouvement des électrons.

La matérialité de ces électrons est d'un ordre particulier, puisque le vide se maintient parfait dans un espace envahi par eux.

(1) *Ions, électrons, corpuscules ;* tome II, page 560.

Ce sont certainement des éléments plus petits que les molécules de la matière ordinaire ; sinon ils ne pourraient traverser une lamelle d'aluminium, qui est imperméable aux gaz les moins denses et les plus subtils, l'hydrogène et l'hélium, et ils ne pénétreraient pas à une profondeur de 50 millimètres et plus dans l'air de l'atmosphère. Ils se fraient un chemin dans les intervalles intermoléculaires, grâce à leur petitesse relative, dont on a ainsi la preuve indiscutable.

Sir Lodge s'est complu à maintenir leur assimilation avec des projectiles, et il ne manquait aucune occasion de développer cette comparaison, qu'il jugeait plus lumineuse qu'aucune autre : « C'est quelque chose, disait-il » dans une conférence de 1902, déjà citée, comme un » boulet sortant d'un canon, que l'on ne voit pas quand » on est de côté, mais qui peut produire un éclair de » lumière, lorsqu'il rencontre un obstacle, ou peut don- » ner naissance à divers effets..... La région dans » laquelle les rayons cathodiques se déplacent, c'est » l'espace noir ; les limites de cet espace s'illuminent, » lorsqu'elles sont frappées par les projectiles » (1).

La cathode peut donc être comparée à une batterie : elle lance des électrons, droit devant elle ; ses salves électriques sont intermittentes, M. Villard l'a démontré. Faisant emploi d'une ampoule conique, alimentée par des bouteilles de Leyde, et la plaçant dans un champ tournant, ce savant a observé que le faisceau, dévié par ce champ, trace sur la base du cône une circonférence lumineuse, constituée par autant de points brillants qu'il y a d'émissions dans un temps égal à la période du champ tournant. Le nombre de ces points varie de 2000 à 5000 par seconde.

On suit le mouvement de ces projectiles électriques et leur trajectoire devient visible sur une lame de mica,

(1) Loc. cit. : *Sur les électrons*, p. 35.

saupoudrée d'une substance phosphorescente, disposée obliquement à leur direction. Leur trace s'observe d'ailleurs directement, si l'on opère sur un pinceau cathodique mince et délié, délimité par des diaphragmes dans un tube chargé d'oxygène pur ; le rayon prend alors une coloration jaune d'or, assez vive pour être photographiée. M. Villard a fait usage de ce procédé pour suivre des yeux les déviations que produisent les champs électrostatiques et magnétiques. Il a disposé à l'intérieur du tube-ampoule un condensateur plan, développant un champ électrostatique, de direction perpendiculaire au rayon cathodique passant entre les armatures ; attiré d'une part par le plateau +, repoussé par le plateau —, le faisceau dessine une parabole. Dans un champ magnétique uniforme, un rayon lancé normalement aux lignes de force trace un arc de cercle ; un champ d'une centaine de Gauss suffit pour obtenir un enroulement d'un tour entier, sur une circonférence de quelques centimètres de rayon (1).

Mais l'école de Cambridge avait inauguré précédemment une balistique électronique, moins brillante peut-être, non moins féconde en résultats, basée de même sur la mesure de la déviation de ces rayons cathodiques par les forces électrique et magnétique, et dirigée spécialement en vue de déterminer la valeur du rapport $\frac{e}{m}$, e étant la charge et m la masse des particules (2). Les expériences de MM. J. J. Thomson et Wilson sont devenues classiques. Une équation, renfermant, en plus de e et de m, la vitesse w, a été fournie par le phénomène statique, une autre par le phénomène magnétique ; l'étude de la condensation ayant donné la valeur de e, on a pu calculer les deux autres inconnues.

(1) Villard, *Les rayons cathodiques et l'aurore boréale* : JOURNAL DE PHYSIQUE, juin 1908, 4e série, t. VII, p. 429.

(2) J. J. Thomson, PHILOSOPHICAL MAGAZINE ; t. XLIV, p. 293 ; 1897.

La masse de l'électron est invariablement la 2000e partie de celle de l'atome d'hydrogène, le plus léger des atomes connus, et sa vitesse oscille entre 30 000 et 60 000 kilomètres par seconde. L'électron reste identique à lui-même en toute circonstance : il voyage sans support atomique, et possède son individualité propre, bien différent de l'ion +, de masse plus grande, animé d'une moindre vitesse, de qualité variable avec la nature des gaz mis en expérience. Ce pourrait bien être l'atome privé de quelques électrons ? On y a vu un noyau central, dont la structure détermine la nature du corps simple considéré, autour duquel les électrons tourneraient comme les planètes tournent autour du Soleil, en nombre variable, d'après la valeur du corps simple.

Mais nous quittons la terre ferme de l'expérience indiscutable, des constatations formelles et des mesures précises et nous sortons des limites que nous nous étions tracées dans ce travail.

Son objet principal était de retracer l'histoire et de faire l'examen critique des hypothèses et des théories, qui ont eu cours successivement dans l'enseignement et dans la science, et de montrer comment elles ont conduit aux doctrines admises actuellement.

L'hypothèse de la matérialité de l'électricité et des fluides continus, qui a prévalu d'abord et a été longtemps acceptée, avait été progressivement écartée : on devrait dire qu'elle l'a été provisoirement, car on en avait gardé le souvenir et conservé le vocabulaire ; celui-ci se prêtait mieux que tout autre à l'expression des faits.

On a été ramené à cette manière de voir par la force des choses, par l'impérieuse domination d'une idée, qui s'imposait, en vertu même de la part de vérité qu'elle renfermait.

L'hypothèse a revêtu une forme nouvelle, concordant mieux avec les découvertes de la science : des vérifications expérimentales extrêmement ingénieuses ont démontré qu'elle correspondait dès lors à une réalité. « Entre une hypothèse et un fait », avait dit Eugène Vicaire, et nous avions noté ce jugement au début de notre étude, « il n'y a qu'une différence de certitude » et non pas de nature ». L'hypothèse de la matérialité sous une forme particulaire, granulaire et discontinue, est devenue un fait, par la constatation de sa réalité.

Elle a donné naissance à la théorie électronique, basée sur la connaissance du fait. Cette théorie est une œuvre ingénieuse de l'esprit, comme les précédentes. Elle se modifiera, on n'en peut douter, car elle devra s'adapter à des découvertes nouvelles ; et elle se trouvera elle-même un jour trop courte, par un côté ou l'autre ; à son tour, elle connaîtra la sénilité et ses impuissances.

Elle passera : mais l'électron restera.

C'est ce que je voulais démontrer.

AIMÉ WITZ.
Correspondant de l'Institut.

PROGRÈS ET TENDANCES

DANS

L'ÉVOLUTION VÉGÉTALE (1)

Celui qui veut se livrer à une étude approfondie du problème de l'évolution organique et des hypothèses qui prétendent expliquer l'origine des espèces, doit s'attendre à connaître des moments de véritable désarroi intellectuel. Plus la réflexion se prolonge et plus il apparaît clairement que, seule, l'idée d'un développement progressif du monde vivant par voie d'évolution est apte à nous rendre intelligible l'œuvre du Créateur. Mais si, convaincu de la réalité même de l'évolution, on s'adonne à en rechercher les causes, si on s'efforce de se représenter les processus de l'évolution, les voies qu'elle a pu ou qu'elle a dû suivre, les moyens que la vie y a mis en œuvre, les influences qui sont entrées en jeu, l'intelligence demeure souvent déconcertée comme devant un insondable mystère. Tous les procédés invoqués par les hypothèses courantes, tous les phénomènes du monde actuel auxquels elles demandent la lumière, paraissent impuissants à nous fournir une explication. L'impression qui en résulte est parfois si décourageante qu'on ressent le besoin d'éprouver à nouveau les fondements de sa conviction touchant le fait même de l'évolution. Mais plus on scrute ces fondements, et plus la conviction devient ferme et lumineuse. On en vient alors à songer qu'il faudrait peut-être, pour trouver une

(1) Conférence faite à Lille le jeudi 25 novembre 1920, à l'Assemblée générale de la Société scientifique de Bruxelles.

voie d'explication, se dégager une bonne fois des hypothèses qui ont le plus généralement cours, se dégager même de certaines conceptions qui sont comme incorporées à la notion d'évolution et que toute interprétation paraît devoir présupposer. Il faut se remettre entièrement devant la lumière des faits et s'efforcer de les analyser à fond, en eux-mêmes, sans vouloir les traduire dans les termes que fournissent les hypothèses en faveur. C'est ce que j'ai commencé de faire et je voudrais vous exposer la conclusion à laquelle une première étape m'a conduit, en ce qui concerne du moins l'apparition de types d'organisation vraiment nouveaux.

Voici cette conclusion : l'évolution demeure incompréhensible si on admet que, même pour la production de nouveaux types d'organisation, elle s'est faite par des transitions lentement graduées, ainsi que le supposent les interprétations courantes. Il faut admettre au contraire qu'elle a pu comporter l'apparition, d'emblée, de formes nouvelles hautement différenciées, à partir de stades beaucoup plus simples et, dans cette production de formes complexes, il faut voir l'œuvre des tendances foncières de la vie, qui la poussaient vers des réalisations toujours plus hautes, en utilisant toute l'amplitude des possibilités qu'offraient à son développement les conditions nouvelles de milieu. Cette conclusion, je ne puis songer à vous la démontrer parfaitement en une brève conférence ; je voudrais du moins vous en exposer l'application à un exemple tiré du règne végétal et ainsi orienter vos réflexions dans la voie qui, seule, me paraît mener à la vérité.

*
* *

L'exemple que j'ai choisi est l'origine de la *vie terricole,* c'est-à-dire l'apparition des végétaux qui, vivant sur un sol émergé, doivent y puiser l'eau nutritive, tandis qu'ils épanouissent dans l'air leur appareil

élaborant. Et il faut, avant tout, que je vous rappelle brièvement, au sujet de l'organisation et du développement de ces plantes, quelques données indispensables.

La vie terricole est tout entière commandée par un type cyclique de développement individuel qu'on appelle souvent alternance de générations et qu'on appellerait plus justement *alternance de phases*. Ce cycle de développement n'appartient pas en propre aux végétaux terricoles ; il apparaît déjà dans les groupes supérieurs des Algues et c'est là que nous devons d'abord l'observer avant de pouvoir aborder le problème de l'origine de la vie terricole elle-même.

La plupart des végétaux — l'exception ne portant que sur les groupes tout à fait inférieurs — possèdent la reproduction sexuée. Deux cellules reproductrices, formées par la plante, et appelées gamètes, s'unissent en une cellule unique qu'on appelle l'œuf et qui va maintenant devenir le point de départ d'un nouveau développement. C'est précisément dans cette fusion de deux gamètes que consiste la fécondation. Or, vous le savez, toute cellule — exception faite encore pour certains organismes inférieurs — comprend essentiellement un protoplasme et un noyau. Lorsque les deux gamètes se fusionnent, les deux noyaux eux-mêmes se rapprochent l'un de l'autre et bientôt n'en font plus qu'un. Il importe de voir de plus près ce que comporte cette fusion de noyaux et, à cet effet, il faut rappeler ce qu'est un « véritable noyau ». On s'en rend compte en observant les phénomènes de la division nucléaire ou caryocinèse, c'est-à-dire ces phénomènes par lesquels un noyau se trouve partagé en deux noyaux, qui, à leur tour, donneront origine chacun à deux noyaux, la division nucléaire étant ainsi le procédé qui accroît dans un organisme le nombre des noyaux. Avant de se diviser, le noyau contient ce qu'on appelle un « réseau chromatique », c'est-à-dire une

organisation composée apparemment de filaments rattachés les uns aux autres et aptes à se colorer, — d'où le nom de chromatique, — sous l'action de certains réactifs. Au début de la caryocinèse, on voit le réseau chromatique se transformer en des cordons ou bâtonnets, eux-mêmes fort chromatiques, dont le nombre est constant pour une espèce donnée, et qu'on appelle *chromosomes*. Chacun de ceux-ci se fend alors dans toute sa longueur et apparaît bientôt composé de deux « moitiés longitudinales » ou « chromosomes-filles ». Ensuite, des processus, que nous ne décrirons pas, font en sorte que de chacun des chromosomes, une moitié longitudinale se rend vers un pôle de la cellule, l'autre moitié se rendant vers le pôle opposé. Chacun des deux pôles reçoit de la sorte un même nombre de chromosomes-filles et ce nombre est égal au nombre de chromosomes que contenait le noyau primitif. Ce sont ces deux groupes de chromosomes-filles qui vont se transformer chacun en un réseau chromatique : ainsi, deux noyaux ont été produits par la division d'un seul.

Les chromosomes n'apparaissent clairement qu'au moment de la division du noyau. Dans le réseau chromatique, il est généralement impossible de les discerner. Il est cependant certain, quoi qu'en disent certains biologistes, que les chromosomes ne sont pas confondus dans le réseau, mais qu'ils y gardent leur individualité, en sorte que les chromosomes qui apparaissent dans un noyau, au début d'une caryocinèse, ne sont autre chose que les chromosomes qui sont entrés, à la fin d'une caryocinèse précédente, dans la composition de ce noyau même. Un noyau doit donc être défini : un certain nombre, spécifiquement constant, de chromosomes, associés et plus ou moins modifiés.

Il s'ensuit que, lors de la fusion des gamètes en un œuf, chacun d'eux apporte, dans son noyau, un nombre

déterminé de chromosomes et, comme ce nombre est le même dans chacun des gamètes d'une espèce donnée, l'œuf reçoit donc un nombre de chromosomes double de celui des gamètes. On appelle *nombre diploïde*, ou $2n$, le nombre de chromosomes que contient l'œuf et *nombre haploïde*, ou n, le nombre qui est la moitié du nombre diploïde.

L'œuf, diploïde, va maintenant entrer en division et donner origine, en fin de compte, à une plante nouvelle qui, elle-même, formera à son tour des gamètes et des œufs. Le nombre diploïde va-t-il être transmis de l'œuf à la plante nouvelle et de celle-ci à ses gamètes ? Le fait que, malgré les générations qui se succèdent dans une espèce donnée, le nombre de chromosomes y demeure le même, montre bien que le lot diploïde de l'œuf n'est pas transmis aux gamètes qui donneront origine à la génération suivante. De fait, entre deux fécondations subordonnées, c'est-à-dire entre la production d'un œuf qui donne origine à une plante donnée et la production d'œufs par cette plante elle-même, il se produit un phénomène pour ainsi dire inverse du doublement chromosomique que comporte la fécondation, un phénomène qui a pour effet de ramener le nombre de chromosomes d'une valeur diploïde à une valeur haploïde et qu'on appelle, pour cette raison, phénomène *réducteur*. On comprend d'ailleurs aisément la raison d'être de ce phénomène. Si la plante issue de l'œuf gardait le nombre diploïde et en faisait part à ses gamètes, l'œuf issu de ceux-ci posséderait, puisque les chromosomes gardent leur individualité, un nombre de chromosomes double du nombre diploïde ; et, la même chose se poursuivant sans changement, le nombre des chromosomes irait se doublant à chacune des générations qui se succèdent par voie sexuée ; or cela serait fatal pour l'organisation de l'être vivant.

Nous ne pouvons nous attarder ici à décrire en détail

le phénomène réducteur, ni à exposer les nombreuses divergences d'interprétation qu'il a suscitées. Il nous suffira de dire que la réduction numérique des chromosomes se réalise à l'aide de deux caryocinèses, non pas vraiment successives, mais emboîtées pour ainsi dire l'une dans l'autre et dont l'une a pour effet de répartir entre les deux pôles de la division, non pas les moitiés longitudinales de chacun des $2n$ chromosomes du lot diploïde, mais les $2n$ chromosomes eux-mêmes, chacun des pôles recevant n chromosomes. Le phénomène réducteur, s'accomplissant ainsi par deux cinèses, comporte la production de quatre noyaux haploïdes aux dépens d'un noyau diploïde.

La réduction numérique se retrouve dans tous les organismes qui, à la fois, possèdent des noyaux véritables à nombre constant de chromosomes et manifestent le phénomène de la fécondation. Mais le moment où s'insère, dans l'évolution individuelle, le phénomène réducteur, n'est pas le même pour tous ces organismes et c'est ce qu'il importe de bien saisir pour comprendre la suite.

Dans le cas le plus simple, la réduction s'accomplit immédiatement après la fécondation. C'est ce qui se passe, par exemple, dans le *Spirogyra*, une Algue verte en réalité unicellulaire, mais dans laquelle les cellules sont associées en colonie filamenteuse. L'œuf reçoit 12 chromosomes de chacun des gamètes et possède donc 24 chromosomes. Lorsqu'il germe, c'est-à-dire lorsqu'il reprend ses divisions pour donner naissance à une nouvelle colonie de *Spirogyra*, les deux premières caryocinèses qu'il subit s'accomplissent d'après le type réducteur et donnent origine à quatre noyaux haploïdes. De ces noyaux, trois se détruisent et l'unique noyau persistant va maintenant inaugurer la série des divisions haploïdes qui produiront un nombre croissant de nouvelles cellules de *Spirogyra*, jusqu'au jour où

ces cellules à leur tour entreront en fécondation. Vous voyez que, dans ce cas, le nombre diploïde n'est représenté que dans l'œuf ; il ne s'y fait aucune caryocinèse vraiment diploïde, puisque, dès que l'œuf entre en division, c'est d'après le type réducteur.

Il est probable qu'un bon nombre d'Algues se comportent comme le *Spirogyra*. Mais lorsqu'on arrive aux Algues supérieures, on voit apparaître un nouveau mode de relation entre fécondation et phénomène réducteur, et c'est ce mode précisément que l'on désigne sous le nom d'alternance de phases.

L'exemple le plus clair en est fourni par une Algue brune, le *Dictyota*, assez voisine des varechs que tout le monde a vus sur nos plages. Dans le *Dictyota*, les gamètes sont produits sur un thalle (1) qui a la forme d'un ruban assez étroit, plusieurs fois ramifié en bifurcations. Ce thalle possède dans ses noyaux 16 chromosomes. Les gamètes reçoivent ce nombre et l'œuf est muni de 32 chromosomes. Jusqu'ici tout se passe comme dans le *Spirogyra*. Voici maintenant la nouveauté. L'œuf ne subit pas lui-même les caryocinèses réductrices. Il est le siège d'une division diploïde, envoyant à chacun des deux pôles 32 chromosomes-filles. Cette caryocinèse est suivie d'autres, elles aussi diploïdes, et ainsi prend naissance un thalle diploïde extérieurement semblable au thalle haploïde qui a produit les gamètes. Le phénomène réducteur paraît donc supprimé. Il n'en est rien. Le thalle diploïde, à un moment donné, va former des cellules reproductrices ; mais celles-ci ne sont pas des gamètes, destinés à se fusionner ; ce sont au contraire des cellules dont chacune est apte par elle-même à germer en une plante nouvelle et auxquelles on réserve le nom de *spores*. Or ces

(1) On sait qu'on donne ce nom à un corps végétal qui n'est pas différencié au moins en tige et feuilles.

spores se produisent aux dépens d'une cellule du thalle diploïde par deux caryocinèses qui s'accomplissent d'après le type réducteur, et c'est ce qui fait que ces spores sont toujours formées par quatre dans la cellule qui leur donne origine. Ce sont ces spores — qu'on appelle souvent *tétraspores*, pour indiquer leur mode de formation et que l'on peut appeler aussi *méiospores*, pour indiquer qu'elles sont issues de cinèses réductrices — ce sont ces spores qui vont, en germant, donner naissance chacune à un thalle, haploïde comme elles, qui, lui, produira des gamètes.

On voit donc que le développement complet du *Dictyota* comporte un cycle de deux phases alternant régulièrement entre elles, une phase haploïde ou *haplophase* qui part de la spore et aboutit à former les gamètes et l'œuf — d'où le nom de *gamétophyte* par lequel on désigne encore cette phase, — et une phase diploïde, ou *diplophase*, qui part de l'œuf et aboutit à produire, grâce au phénomène réducteur, des tétraspores haploïdes, — d'où, pour cette seconde phase, le nom de *sporophyte*. Le trait particulier de cette alternance de phases dans le *Dictyota*, c'est que les deux phases y sont représentées par deux thalles semblables.

Tel est le type de développement que nous allons retrouver, dans ses traits essentiels, chez les plantes terricoles. Mais avant de passer à envisager celles-ci, il sera utile de nous demander si l'on peut découvrir la raison d'être de ce développement à phases alternantes. Il nous semble qu'on peut y voir un effet tout naturel de certaines tendances de la vie végétale. Le fait qu'il s'agit d'expliquer est, non pas la réduction elle-même dont nous avons déjà indiqué la raison d'être, mais l'intercalation, entre l'œuf et le stade de la réduction, d'une longue série de cinèses diploïdiques donnant origine à un thalle sporophytique. Pourquoi la tendance à grandir entre-t-elle ainsi en action à deux

reprises, une fois dans la spore et une fois dans l'œuf ? Pourquoi la croissance ne se confine-t-elle pas tout entière dans le corps végétal issu de la spore ?

Il nous semble que cela est dû précisément à ce que l'œuf est une « semence », et, par conséquent, est tout naturellement, du moins dans les organismes pluricellulaires, porteur de la tendance à donner un corps végétal. Cette tendance pourra, dans certains cas, céder devant d'autres exigences. Mais, de soi-même, l'œuf va à produire une plante.

Nous pouvons maintenant aborder le problème de la vie terricole. Celle-ci se présente, en ce qui concerne le cycle du développement individuel, sous deux grands types, le type que nous appellerons *bryophytique*, caractéristique de l'embranchement des Bryophytes, et le type *ptéridophytique* qui caractérise les Ptéridophytes et les Phanérogames. Forcé de nous limiter, nous n'envisagerons que l'origine des Ptéridophytes ou mieux d'un groupe d'entre elles, les Fougères. Mais il nous faut pour cela — et au risque de redire des choses connues de bon nombre de nos auditeurs — définir d'abord les deux grands types que nous venons de signaler. Nous le ferons à l'aide d'exemples déterminés, le *Pellia* et une *Mousse* pour le type bryophytique, une *Fougère* pour le type ptéridophytique.

Dans le *Pellia* (fig. 1) — que l'on rencontre assez fréquemment sur les berges des fossés humides — ce que nous appelons *la plante*, c'est-à-dire le corps végétal qui est le siège des phénomènes d'élaboration et d'accroissement, présente la forme d'une petite plaque verte appliquée contre le sol dans lequel, à l'aide de filaments, elle puise l'eau alimentaire. Sur ce thalle se forment des organes sexués. Les uns, organes mâles ou anthéridies, produisent des gamètes petits, appelés

anthérozoïdes, munis de deux cils, — prolongements effilés du protoplasme, — à l'aide desquels ils peuvent se mouvoir dans l'eau. Les organes femelles, appelés archégones, contiennent au moment de la fécondation une unique grande cellule, qu'on appelle oosphère. Les organes sexués, il importe de le noter dès maintenant, sont portés par la face supérieure du thalle.

Fig. 1. — Thalle et sporange de *Pellia* (d'après Coulter).

Pour que l'union des gamètes puisse s'opérer, il faut l'intervention de gouttes d'eau, par exemple de gouttes de rosée, couvrant à la fois anthéridies et archégones ; les anthérozoïdes s'y déchargent, arrivent au contact de l'oosphère et l'œuf se forme. Avant de suivre le développement de ce dernier, voyons ce qui concerne, dans le thalle lui-même, les chromosomes. Le thalle, dans certaines espèces du moins, possède 8 chromosomes. C'est le nombre qu'il a reçu de la spore, qui, que nous le dirons, lui donne origine. Ce même nombre ainsi est transmis à chacun des gamètes, anthérozoïde et oosphère, et l'œuf contient 16 chromosomes. On voit que le thalle de *Pellia* ou ce qu'on appelle la plante de *Pellia* est haploïde.

L'œuf n'abandonne pas le thalle. Il s'y développe en une formation très simple, qui, lorsqu'elle est complètement achevée (fig. 1), comprend un mince pédicelle surmonté d'un corps sphérique appelé sporange : celui-ci contient, à l'intérieur d'une paroi, un grand

nombre de spores. Or, voici par quel procédé l'œuf donne origine à ce sporange pédicellé : il subit d'abord une série de divisions diploïdiques, montrant donc 16 chromosomes. Il en résulte à un moment donné un massif cellulaire diploïdique, où on distingue une partie qui deviendra le pédicelle et une partie terminale arrondie qui deviendra le sporange. Le pédicelle, par sa base, plonge dans le tissu du thalle et y puise l'aliment nécessaire. Dans le sporange en formation, on discerne bientôt une assise externe qui donnera origine à la paroi et un massif interne de cellules qui vont, par division, former des spores. Mais dans la série de divisions qu'inaugure chacune de ces cellules, il faut distinguer deux étapes : dans une première période, ce sont des caryocinèses diploïdiques qui se déroulent et ainsi naissent des cellules nombreuses qui, maintenant, dans une seconde période, vont se diviser d'après le type réducteur et donner naissance chacune à une tétrade de spores haploïdes. Ce sont ces spores, qui, en germant, donnent de nouveaux thalles de *Pellia*.

On voit que le développement du *Pellia* comporte une alternance de phases, analogue à celle du *Dictyota*. Ce qu'il y a ici de particulier, à cet égard, c'est que, seul, le gamétophyte grandit assez pour devenir une plante verte — c'est-à-dire une formation capable d'absorber l'aliment minéral et de le transformer en composés organiques — le sporophyte étant ordonné tout entier à la formation des spores et se réduisant à un sporange pédicellé.

Le type du développement dans la *Mousse* répète celui du *Pellia* mais, pour ainsi dire, à un étage supérieur de la différenciation morphologique. Le gamétophyte, haploïde, issu de la spore, y est différencié en une tige feuillée, portant à son sommet un archégone et plus tard l'œuf. L'œuf se développe comme dans le *Pellia* en un sporange pédicellé, qui surmonte la tige

feuillée, mais la structure en est plus compliquée que dans le *Pellia*. Il y existe entre autres un tissu vert qui rend le sporophyte capable de faire lui-même sa synthèse organique. Malgré cela, dans la *Mousse* comme dans le *Pellia*, le développement du sporophyte demeure fort restreint. Dans aucun des deux cas, il ne devient une plante indépendante, capable d'absorber elle-même l'aliment minéral ; c'est le gamétophyte qui

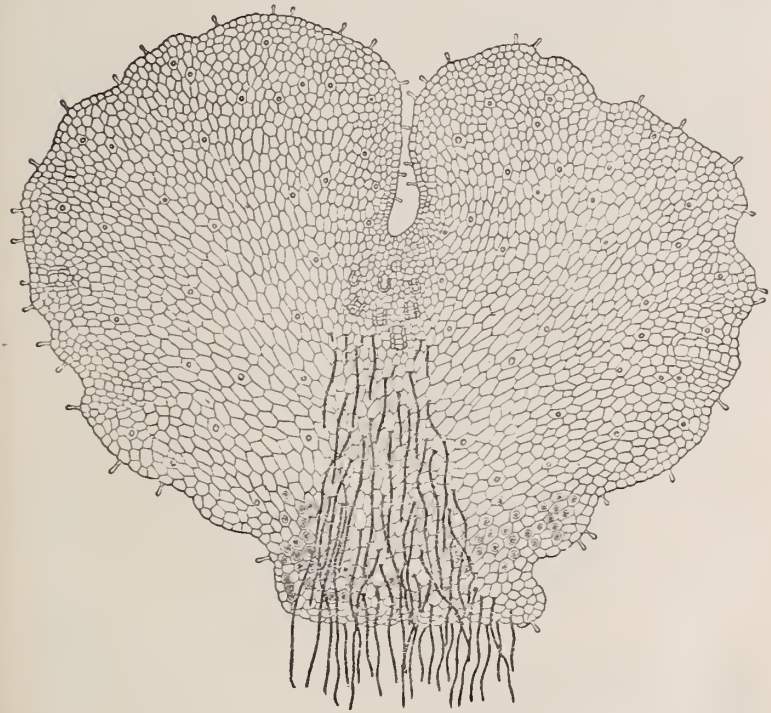

Fig. 2. — Prothalle de Fougère, fort agrandi, observé par sa face inférieure (d'après Coulter).

seul grandit et se différencie en une plante autonome. C'est là le caractère fondamental du type Bryophytique.

Il en va tout autrement dans le second type de vie terricole que nous avons mentionné, le type ptéridophytique. Il comporte lui aussi une alternance de

phases, mais le sporophyte y devient une plante hautement différenciée, comportant, outre tige et feuilles, de vraies racines, c'est-à-dire, des organes d'absorption capables de grandir par un tissu d'accroissement et munis, comme la tige et les feuilles elles-mêmes, de tissus conducteurs. Nous prenons comme exemple une Fougère et, pour en exposer le cycle, nous partons des spores qui sont portées sur la face inférieure des feuilles. Une spore donne naissance, non pas à une plante de Fougère, mais à un petit thalle vert (fig. 2) — qu'on appelle prothalle — assez semblable à un thalle de *Pellia*, appliqué lui aussi contre le sol et y enfonçant des filaments fixateurs et absorbants. Sur ce thalle, haploïde comme la spore d'où il provient et représentant la phase gamétophytique, se forment les organes de la reproduction sexuelle, essentiellement analogues à ceux des Bryophytes. Il importe de noter que ces

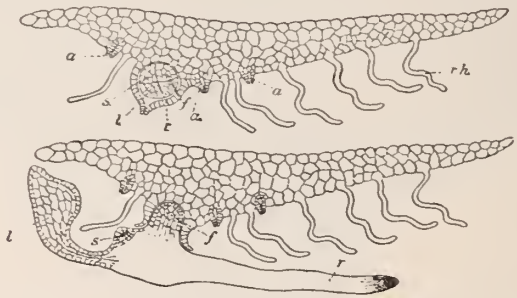

Fig. 3. — Coupe dans un prothalle de Fougère, à deux stades différents (d'après F. Darwin). En haut, on voit le massif sphérique issu des premiers cloisonnements de l'œuf. En bas, ce massif a produit une racine (*r*), une jeune feuille (*l*) et une jeune tige (*s*).

organes sont portés à la face inférieure du prothalle, au contact du sol. Les gamètes mâles sont ici encore ciliés et la fécondation ne peut s'opérer qu'à l'intervention de l'eau.

C'est l'œuf, diploïde, qui va donner origine à la plante de Fougère que tout le monde connaît. A cet effet, (fig. 3) tandis que le massif cellulaire diploïdique

issu des cloisonnements de l'œuf plonge par un côté dans le tissu du prothalle, pour y puiser le premier aliment indispensable, il grandit d'autre part à la fois vers le sol, en une vraie racine et, vers l'atmosphère, en une tige feuillée. Ainsi naît une plante capable de vivre par elle-même et le prothalle, dont le rôle est achevé, se dessèche et meurt.

Sur la face inférieure des feuilles se produisent des sporanges, où les spores se forment de la même manière que dans les Bryophytes et ces spores inaugurent un nouveau cycle.

Ce qui caractérise le type de développement « ptéridophytique », en regard de celui des Bryophytes, c'est que l'œuf y donne une plante indépendante, la plante de Fougère représentant ainsi la diplophase, tandis que le gamétophyte ou haplophase acquiert tout juste le développement qu'il faut pour nourrir, à ses débuts, la jeune plantule issue de l'œuf.

Le problème qui surgit maintenant devant nous, est celui de savoir comment, à un moment donné de l'histoire de la vie sur le globe, ont pris naissance ces deux types de développement terricole. Mais, nous l'avons déjà dit, ce problème pris dans toute son ampleur dépasserait les limites d'une conférence et nous n'envisagerons que l'origine des Ptéridophytes, en prenant, comme exemple, une Fougère.

La question qui se pose avant tout est celle-ci : ne pourrait-on pas admettre, avec certains auteurs, que le type ptéridophytique est dérivé lui-même du type bryophytique ; ou, pour être plus précis, ne pourrait-on pas admettre que les Fougères — ou d'autres Ptéridophytes simples — représentent simplement un degré plus avancé de la différenciation acquise par les Bryophytes ? Évidemment, il est impossible de se repré-

senter qu'une plante analogue à nos Mousses ait donné origine, *par transformation*, à une plante analogue à nos Fougères : il aurait fallu, pour cela, que la tige feuillée de la Mousse, phase haploïde ou sexuée de cette plante, devînt un prothalle, phase haploïde de la Fougère ; ce qui n'a pas de sens acceptable. Mais la question n'apparaît pas si claire dès l'abord, si on cherche l'origine des Fougères dans la transformation, non pas d'une Mousse, mais d'une plante analogue au *Pellia*. Il eût suffi, semble-t-il, pour qu'une première Fougère naquît, que, sur une thalle de *Pellia*, le massif cellulaire issu de l'œuf, au lieu d'arrêter rapidement son développement et de devenir un simple sporange pédicellé, se mît à grandir davantage et à se différencier en un corps végétal composé de tige, feuilles et racines. Le thalle lui-même de *Pellia* eût passé, par là même, au rang de prothalle, et on pourrait dire que la Fougère n'est autre chose — sauf des différences sur lesquelles nous n'insistons pas — qu'un *Pellia* dont l'œuf a produit une plante terricole parfaitement différenciée. Or, il nous paraît clair qu'une évolution *directe* d'un *Pellia* en une Fougère n'a pas pu se réaliser. Nous croyons que la cause déterminante foncière de la différence entre le sporophyte d'un *Pellia* et celui d'une Fougère, ne réside pas dans le mode de développement de l'œuf — mode qui serait conçu comme capable de varier par lui-même — mais doit être cherchée plus haut, dans un phénomène antérieur, à savoir la localisation même de l'œuf sur le gamétophyte; nous pensons que, étant donnée la situation de l'œuf sur le thalle de *Pellia*, son développement devait aller dans une direction opposée à celle qu'il fallait pour aboutir à donner une plante munie de tige, feuilles et racines et que par conséquent un thalle de *Pellia* n'a pas pu, par simple modification, devenir un prothalle de Fougère.

Rappelons-nous en effet que, dans le *Pellia* — et

a fortiori dans les autres Hépatiques — l'œuf est porté sur la surface du thalle qui confine à l'atmosphère tandis que, dans la Fougère, l'œuf est porté sur la surface du thalle qui touche le sol, et représentons-nous un *Pellia* primitif, à l'aurore de la vie terricole.

Dans une plante de ce type, l'œuf obéit à la tendance fondamentale des végétaux, qui est de grandir : il va à produire un massif cellulaire qui, tout en se nourrissant aux dépens du thalle et en s'enfonçant par conséquent dans ce dernier, tend à s'épanouir et à former un corps végétal qui produise, en fin de compte, des spores haploïdes. Puisque l'œuf est situé à la face supérieure, confinant à l'atmosphère, c'est dans l'atmosphère elle-même que le corps issu de l'œuf tend à grandir, tandis que, par sa partie inférieure, il s'enfonce dans le thalle. Or, pour qu'une vraie racine puisse apparaître, il faut que le massif diploïde, tout en restant plongé dans le thalle nourricier, ait tendance et possibilité à grandir, non seulement dans l'atmosphère, mais vers le sol. C'est ce qui a lieu dans le prothalle de Fougère, grâce à la localisation de l'œuf sur la face inférieure du thalle, entre celui-ci et le sol ; mais dans une plante comme le *Pellia*, la localisation de l'œuf polarise son développement dans un sens inverse de celui qu'il faudrait pour mener à une plante enracinée. Aussi, pour qu'un thalle analogue au *Pellia* devînt l'origine d'un Ptéridophyte, il eût fallu que son organisation se trouvât fondamentalement modifiée. Si les Bryophytes et les Ptéridophytes proviennent d'une même souche, c'est qu'à l'origine des deux groupes il s'est produit une bifurcation, fondée précisément sur l'apparition d'un double type de localisation pour les appareils reproducteurs.

Il nous faut donc rechercher l'origine des Ptéridophytes sans tenir compte des Bryophytes.

Diverses hypothèses ont été proposées pour expliquer la genèse des Ptéridophytes par *une modification graduelle* d'organismes moins différenciés. Je ne veux en mentionner qu'une seule, la plus récente. Elle a le mérite d'envisager l'ensemble du problème et de se présenter sous une forme plus achevée que toutes les autres. Et il nous suffira de la discuter, en regard de notre interprétation, pour que, pensons-nous, la valeur de celle-ci apparaisse suffisamment.

L'hypothèse dont nous voulons parler est celle d'un botaniste anglais, A. H. Church (1). D'après l'auteur, les ancêtres des Fougères doivent être cherchés dans des Algues marines, d'ailleurs hypothétiques, qui se seraient développées lorsque le fond de la mer a commencé à affleurer et dans lesquelles Church suppose associés certains caractères qui apparaissent actuellement éparpillés dans les Algues marines supérieures. Voici sous quels traits le botaniste anglais se représente ces Algues, souche des Fougères.

Elles auraient possédé une alternance de phases répondant au type du *Dictyota*, c'est-à-dire comportant un gamétophyte et un sporophyte semblables entre eux : mais le sporophyte et le gamétophyte y auraient atteint la différenciation la plus haute qu'on trouve dans les Algues marines actuelles : un axe central de symétrie radiaire, portant en ordre régulier des organes latéraux analogues à des feuilles. En outre, ces plantes auraient été munies de « crampons » c'est-à-dire de protubérances capables de s'attacher aux rochers (fig. 4).

C'est par le sporophyte que Church établit le lien entre ces Algues et les Fougères. Lorsque, le fond de la mer ayant définitivement affleuré en certains points, la vie terricole a pu se développer sur un sol nourricier créé

(1) A. H. Church, *Thalassiophyta and the subaerial transmigration.* Oxford Botanical Mémoirs, n° 3, 1919.

par les débris des Algues elles-mêmes, des sporophytes d'Algues auraient, pour s'adapter aux nouvelles conditions de vie, utilisé, en les modifiant, les dispositions qu'ils avaient déjà acquises dans leur différenciation antérieure. La plante ayant maintenant à pénétrer dans le sol pour y puiser l'eau alimentaire, il a suffi

Fig. 4. — Algue brune actuelle, avec crampons, axe dressé et organes latéraux étalés (fort réduit ; d'après Coulter).

qu'elle employât à cet effet les crampons qui n'avaient jusque là qu'un rôle de fixation et, ainsi, les crampons sont devenus des racines. La partie dressée, déjà munie d'organes semblables à des feuilles, n'a eu qu'à modifier la symétrie et la structure de ces organes

pour en faire de vraies feuilles. Et ainsi de suite pour d'autres caractères.

En ce qui concerne le gamétophyte, bien moins développé dans les Fougères que dans les Algues ancestrales, Church pense que c'est la tendance de la plante terricole à produire des générations successives à intervalles courts qui l'a conduite à réduire le gamétophyte jusqu'à n'être plus que tout juste ce qu'il faut pour assurer la formation des gamètes et le premier développement de l'œuf.

Telle est, dans ses grands traits, l'hypothèse de Church. Et on voit qu'elle s'efforce de trouver, dans des formes inférieures aux Fougères, l'*antécédent de chacune des dispositions* dont l'ensemble caractérise ce groupe de plantes.

Or il nous semble que si on analyse de plus près les faits de l'ontogénèse, qui seuls peuvent nous révéler la nature des processus évolutifs, on arrive à une autre interprétation. Et la voici, d'abord dans ses grandes lignes. Pour qu'un sporophyte de Fougère apparût, c'est-à-dire pour que prît naissance le premier sporophyte enraciné, il a suffi qu'un thalle se formât apte à produire des œufs à sa face inférieure, au contact du sol ; une fois donné ce thalle, quelle qu'ait été la plante qui l'a fourni, que ce soit une Algue supérieure ou une Algue inférieure, le développement de l'œuf a suivi les possibilités nouvelles qui lui étaient offertes par les circonstances mêmes où l'œuf se trouvait et il a abouti à la production d'une plante munie de racines, tige et feuilles. Cela s'est fait tout simplement parce que la vie végétale en évolution *tendait à grandir dans toute la mesure que lui concédaient les circonstances extérieures*. Cette interprétation ne recherche donc pas, pour le sporophyte enraciné, un ancêtre assez voisin de lui dans son organisation. Tout ce qu'elle suppose au point de départ est ceci : un gamétophyte tel que nous

l'avons décrit, des conditions nouvelles de végétation et, dans l'œuf, les tendances foncières de la vie végétale.

Il sera utile, pour pouvoir mieux définir et établir cette interprétation, de commencer par examiner les fondements principaux de l'hypothèse de Church. En dehors du postulat, qu'il admet avec tant d'autres, affirmant que l'évolution n'a pu s'accomplir que par une marche lentement graduée, l'auteur fait appel surtout à deux considérations. D'abord il lui paraît inadmissible que la première apparition des Ptéridophytes se soit faite sous la forme d'un prothalle ; le prothalle est un organe dorsiventral et, pour Church, la dorsiventralité ne peut être que le résultat d'une adaptation secondaire, subie par des organismes qui jusque là montraient la symétrie radiaire. En outre, si la différenciation des végétaux terricoles en tige feuillée enracinée n'avait pas trouvé son origine dans une différenciation du même genre présentée déjà par des Algues marines ancestrales, on ne comprendrait pas que des milieux aussi différents que sont l'eau et l'atmosphère aient pu donner lieu à une même différenciation.

Ces arguments, loin de démontrer la thèse de Church, se retournent contre elle. D'abord, n'est-il pas plus vraisemblable qu'au moment où la vie a commencé à se développer sur la terre émergée, la croissance a dû se faire de façon à maintenir le plus aisément possible le contact entre la plante et le sol, devenu maintenant la seule source d'eau alimentaire et que donc le premier corps végétal terricole a dû être appliqué contre la terre ? Évidemment, dès ses débuts sur le sol émergé, la vie végétale tendait à se développer le plus largement possible — une plante est cela : un être qui grandit — et par conséquent à s'épanouir dans l'atmosphère, en y dressant une formation de

symétrie rayonnante. Mais nous pensons que la vie n'a pu entrer dans cette voie qu'à la condition de former avant tout un organe collé au sol, y puisant aisément l'eau et les sels minéraux, capable, étant chlorophyllien, d'élaborer la nourriture organique et, par conséquent, de fournir l'aliment requis pour que pût se produire une plante dressée dans l'air. C'est bien ce que nous enseigne la nature actuelle. En dehors des Phanérogames, qui sèment des graines — et de quelques Sélaginelles, qui sèment, sinon des graines, du moins des embryons déjà constitués, — toute vie terricole débute par une formation dorsiventrale sur laquelle naît, plus tard seulement, la plante dressée. Il est donc tout naturel d'admettre que c'est par le thalle que les Fougères ont débuté sur la terre.

Le second appui de l'interprétation de Church n'est pas plus valide. Il n'y aurait vraiment rien de surprenant, il n'y aurait au contraire rien que de très naturel à ce que le développement de la plante en un axe dressé garni de formations foliaires se soit fait, d'une façon indépendante, aussi bien dans le milieu aérien que dans le milieu aquatique. Pour le comprendre, il faut se représenter nettement ce qu'est en réalité une feuille. On se demande souvent lequel des deux organes, tige et feuille, doit être considéré comme primitif ; certains botanistes pensent qu'il faut voir dans les feuilles des « appendices » produits par la tige, qui serait ainsi l'organe principal ; pour d'autres, au contraire, les feuilles sont les membres fondamentaux et la tige résulte simplement de la coalescence des bases foliaires. Nous croyons que la vérité est ailleurs. Il faut d'abord se rappeler comment prennent naissance, dans le bourgeon, les protubérances destinées à devenir, les unes des feuilles, d'autres des rameaux latéraux. Ces protubérances — ou *primordiums,* comme on peut les appeler — proviennent simplement

l'une et l'autre de ce que, en un point donné, le méristème ou massif cellulaire en division qui termine l'axe aérien, se divise de façon à former une saillie. Si celle-ci, dans son cloisonnement, obéit à une symétrie bilatérale, la protubérance sera un primordium de feuille ; si elle obéit à une symétrie radiaire, ce sera un primordium de rameau. Il faut donc, pour se représenter l'appareil aérien dans sa vraie nature, faire d'abord abstraction de la différenciation en tige et feuilles et concevoir cet appareil comme étant en réalité un corps unique, s'accroissant par les divisions dont sa partie terminale est le siège. C'est là ce qui est primitif et principal dans la plante aérienne et, de ce point de vue, tige et feuilles sont également secondaires. En effet, sous la poussée d'une tendance foncière à élaborer et à déployer sous la lumière des surfaces vertes, ce corps végétal, au lieu de croître simplement en une formation cylindrique, grandit au contraire de façon à s'étaler pour ainsi dire sur ses flancs. C'est ce qui donne les feuilles et c'est de là précisément que résulte, dans le corps de la plante, une délimitation entre organes latéraux et organe axial, la tige étant simplement la partie qui reste axiale lorsque se produisent les protubérances foliaires. Feuilles et tige sont deux différenciations corrélatives dans le corps végétal.

Cela étant, on comprend très bien que, le milieu aérien et le milieu aquatique s'offrant l'un et l'autre largement à l'épanouissement d'un corps végétal, celui-ci ait été, dans l'un comme dans l'autre, capable de s'étaler en organes latéraux et de se différencier par conséquent en tige et feuilles.

Les remarques que nous venons de faire, tout en écartant les objections que Church pourrait élever contre notre interprétation, vont nous permettre maintenant de définir celle-ci avec plus de précision et d'en montrer le bien-fondé. N'envisageons que le sporophyte

et tâchons d'abord, sans rien démontrer encore, de nous représenter son origine, à partir du thalle sexué que nous supposons déjà apparu sur la terre.

Voici donc, sur le sol humide, un thalle aplati qui, à sa face inférieure, porte un œuf plus ou moins enfoncé dans un tissu capable de le nourrir (fig. 3). Cet œuf, diploïde, au lieu d'obéir immédiatement au besoin de réduire le nombre des chromosomes, se livre plutôt, comme dans le *Dictyota*, à la tendance foncière qui porte toute vie végétale à grandir. Il donne ainsi origine à un massif cellulaire diploïde, qui ne formera que plus tard des spores haploïdes. Ce massif cellulaire plonge dans le prothalle ; il y puise de l'aliment grâce auquel il peut grandir jusqu'à devenir vert et capable désormais, s'il est à même d'absorber l'eau alimentaire, de grandir indéfiniment. Or, par suite de sa situation à la face inférieure du prothalle, il tend à s'accroître non seulement vers l'air, mais aussi vers le bas. Arrivant ainsi au contact du sol, l'unique milieu où se trouve l'eau alimentaire, il y enfonce, en croissant, une partie de lui-même ; cette partie, il la plonge pour ainsi dire dans le milieu nourricier ; il en fait un organe absorbant, une racine. Maintenant approvisionné d'eau, même dans la partie qui émerge du sol, il grandit vers le haut et tend à s'épanouir dans l'atmosphère. Mais cette tendance, comme nous l'avons dit plus haut, va se traduire par la formation d'expansions latérales qui seront des feuilles et le corps d'une plante terricole parfaite sera formé. Ce développement des membres de la plante a d'ailleurs pour corrélatif la différenciation des tissus.

On voit donc — nous le répétons — que, pour expliquer l'apparition d'un sporophyte du type ptéridophytique, notre interprétation ne suppose que le point de départ suivant : un thalle portant à sa face inférieure un œuf diploïde. Pour le reste, elle fait appel

aux tendances foncières qui caractérisent le végétal, sans exiger un ancêtre dont la différenciation aurait été voisine de celle des Ptéridophytes.

Pour examiner le bien-fondé de cette hypothèse, nous ne pouvons mieux faire que de la confronter avec l'interprétation du professeur d'Oxford.

Et, tout de suite, celle-ci apparaît comme bien supérieure à la nôtre et précisément en ce qu'elle implique une marche lentement graduée dans l'évolution, tandis que nous admettons la possibilité de « sauts » considérables, comportant l'apparition, d'emblée, d'organisations fort complexes. Il semble que la naissance d'une forme nouvelle se comprenne plus aisément si elle s'est faite, à partir d'une organisation ancienne, par des modifications lentes et mesurées.

Mais ici, où nous nous occupons de la naissance de nouveaux *types d'organisation,* il faut se garder de ce que j'appellerais volontiers le leurre des formes de transition, paraissant imposer l'idée d'une transformation graduelle ; il importe de se demander quel sens réel peuvent avoir ces mots : transformation graduelle.

Tenons-nous-en à la genèse de la racine.

Lorsque le botaniste anglais dit qu'il faut voir, dans le crampon d'une algue marine, l'antécédent de la racine, peut-il vouloir signifier qu'un organe donné, après avoir existé quelque temps comme crampon, est devenu ensuite une racine ? Non, car cela est impossible. Le crampon, une fois formé, ne peut plus acquérir aucune des dispositions de forme et de structure qui caractérisent une racine et rendent possible un rôle d'organe absorbant. Par conséquent, dire que le crampon est l'antécédent de la racine ne peut offrir qu'un sens, à savoir qu'une plante qui jusque là portait des crampons, s'est mise à produire, *à la place de crampons,* des racines ; en d'autres termes, qu'au lieu de croître vers le bas en des crampons, elle a grandi en

des racines. Le lien entre racine et crampon ne peut donc pas être établi par les organes eux-mêmes, comme si l'un provenait de l'autre, mais par une tendance sous-jacente à la production des deux sortes d'organes, la tendance à croître vers le bas, tendance qui se trouve utilisée, dans un cas, pour produire des crampons et, dans l'autre, pour produire des racines.

Or, cette tendance à croître vers le bas, le massif cellulaire issu de l'œuf la possède, par cela même qu'il est orienté vers la terre et quel qu'ait été le mode de croissance de l'œuf dans la plante qui a donné origine au premier prothalle de Fougère. L'intervention des crampons dans l'hypothèse de Church n'assure donc à celle-ci aucun avantage.

Mais cependant, dira t-on, si on admet l'hypothèse de Church, les tendances qu'il faut faire entrer en action sont plus déterminées que celles auxquelles recourt notre interprétation et *plus voisines de l'effet nouveau* qu'elles sont appelées à produire. Dans notre interprétation, on ne peut faire intervenir que les tendances foncières de l'être végétal à grandir et à se reproduire ; dans l'hypothèse du botaniste anglais, les tendances qu'on pourrait invoquer vont déjà à produire des organes descendants et un axe dressé muni d'organes latéraux.

Ici nous touchons le fond du problème et, pensons-nous, le fond même de l'évolution, en ce qui concerne du moins, nous le répétons, l'apparition de types d'organisation vraiment nouveaux.

Or, nous pensons que c'est précisément dans le recours à des tendances déjà trop spécialisées que gît le vice fondamental de l'interprétation de Church et, d'une manière générale, de toute hypothèse qui fait appel à des passages lentement gradués.

Arrêtons-nous encore, avant de parler en général, au cas de la racine : aussi bien cet organe est-il celui

dont l'apparition a permis l'efflorescence de la vie terricole.

Si la tendance que le sporophyte de la première Fougère a héritée de ses ancêtres et qui a amené la formation de racines n'a pas été, tout simplement, la tendance à grandir autant que le permettaient les possibilités nouvelles offertes par le milieu et, *par là même*, aussi vers le sol nourricier, si elle a été plus particularisée, elle n'a pu l'être qu'en impliquant le mode spécial de cloisonnement cellulaire qu'elle manifestait dans les ancêtres, c'est-à-dire le type de cloisonnement qui mène à former un crampon. Or le cloisonnement qui produit un crampon est tout différent de celui qui produit une racine munie de tissus conducteurs. Par conséquent, même si le premier sporophyte de Fougère est provenu d'une Algue à crampons, il a fallu que le descendant perdît précisément le type spécial de cloisonnement qui caractérise le crampon ; il a fallu qu'il n'héritât de son ancêtre qu'une tendance à grandir indifférente à produire un crampon ou une racine, ou mieux, assez générale pour pouvoir à la fois, suivant les conditions de la vie, s'orienter soit vers la formation d'un crampon, soit vers la production d'une racine.

D'une manière générale, pour qu'une forme vraiment nouvelle apparût dans l'évolution, il a fallu que le descendant fût libéré de la tendance propre à ses ancêtres, pour n'être plus soumis qu'à une tendance assez générale pour régir à la fois, par sa généralité même, la différenciation ancestrale et la différenciation nouvelle. Pour que, par exemple, un descendant manifestât un mode nouveau de croissance, il a fallu qu'il perdît la tendance à croître de la façon que faisaient ses ancêtres et ne reçût de ceux-ci qu'une tendance assez indifférente pour amener, suivant les cas, le mode de croissance ancestral et le nouveau type de croissance. La tendance à laquelle la forme nouvelle doit son ori-

gine sera d'ailleurs plus ou moins générale, suivant les cas ; ce qu'il faut, nous le répétons, c'est qu'elle soit à même de commander à la fois les divers caractères des formes que l'on considère comme parentes.

Par conséquent, toute différenciation, loin d'être, *en ce qu'elle a de particularisé*, une impulsion à l'évolution et la condition nécessaire d'un progrès ultérieur, y devient au contraire un obstacle que la vie en marche doit pour ainsi dire tourner. Aussi l'évolution nous apparaît, non pas comme une *transformation* de types anciens en des types nouveaux, mais comme une production, par des formes anciennes, de *germes* indifférents, — dans une mesure plus ou moins grande, — capables par là même et sous la poussée de la vie, d'exploiter les possibilités élargies que des milieux nouveaux offrent au fonctionnement vital et de s'épanouir en des formes originales. Au lieu de « transformation d'espèces » et « transformisme », nous disons « éclosion d'espèces » et « évolutionnisme ».

Dans le cas présent, quel degré de particularisation peut-on supposer dans les tendances de l'œuf d'où, un jour, est provenu le premier sporophyte de Fougère ? Une particularisation, à notre avis, bien restreinte : il faut supposer d'abord que cet œuf a été produit par un organisme vert pluricellulaire — de qui l'œuf a hérité la tendance à se cloisonner lui-même selon le type qui engendre une organisation pluricellulaire — ; ensuite, cela va de soi, que cet organisme était doué de reproduction sexuée ; et, enfin, qu'il possédait de véritables noyaux, porteurs d'un nombre constant de chromosomes, — ce qui, uni à la fécondation, entraîne la nécessité d'une étape de réduction. Si à cela on ajoute le fait fondamental que l'œuf s'est formé, non pas sur la face supérieure du thalle, vers l'air, mais sur la face inférieure, vers le sol nourricier, on a précisé, nous semble-t-il, tout ce qu'on peut supposer dans le germe

de la première Fougère. Une particularisation plus avancée le serait trop, car elle impliquerait, dans le cloisonnement même de l'œuf, des directions qui s'opposent à la production d'une Fougère. Les propriétés que nous attribuons à l'œuf, sont seules assez générales pour avoir pu régir à la fois le développement de l'ancêtre des Fougères, quel qu'il ait été, et celui des Fougères elles-mêmes. Elles permettent d'ailleurs, en faisant simplement intervenir les tendances fondamentales de la vie, de se rendre compte de l'apparition d'un sporophyte de Fougère. Si, en effet, un œuf de ce genre et ainsi placé sur le thalle, obéit à cette impulsion qui nous a déjà fait comprendre l'alternance de phases, à savoir l'impulsion à grandir en un corps végétal indépendant, il doit en résulter une plante enracinée et feuillée ; car, comme nous l'avons exposé plus haut, c'est à produire une plante de ce type que va, dans les conditions indiquées, la tendance foncière qui anime la vie végétale elle-même et qui la pousse à s'épanouir dans toute la mesure des possibilités que lui ouvrent les milieux nouveaux où elle se trouve plongée.

Nous n'avons envisagé que le sporophyte des Fougères. Mais cet exemple peut passer pour l'un des plus représentatifs et, si j'en avais le temps, je vous montrerais que l'étude d'autres exemples ne fait que confirmer la conclusion à laquelle nous a conduit l'examen des Fougères et que l'on peut, croyons-nous, formuler comme une règle générale de la manière suivante : les nouveaux types d'organisation ne sont pas nés de la transformation lentement graduée de types antérieurs, mais ils ont apparu d'emblée, les espèces préexistantes ayant fourni des « germes » indifférents qui, sous la poussée des tendances foncières de la vie, se sont développés en des formes originales, taillées pour ainsi dire à la mesure des possibilités que les milieux nouveaux offraient à l'épanouissement de la vie végétale.

Cette conception — qui demanderait d'ailleurs à être discutée dans le détail et mise en regard des objections qu'elle peut soulever — pourrait donner lieu à de longues considérations philosophiques. Je me contente d'en indiquer une seule, c'est que, si cette façon de voir est la vraie, il n'y a vraiment pas moyen de faire intervenir le hasard comme *cause de progrès* dans l'évolution. L'idée de voir dans la variabilité fortuite des organismes, aidée de la lutte pour la vie, la source du perfectionnement évolutif du monde vivant, n'a pu avoir prise sur les esprits que parce qu'on avait en quelque sorte monnayé l'évolution, en la décomposant en innombrables petits échelons, dont chacun ne paraissait pas dépasser l'amplitude possible de la variabilité accidentelle des organismes. Mais s'il s'agit d'expliquer l'apparition, d'emblée, de formes hautement complexes, personne, évidemment, ne pourra même songer à y voir le produit d'une variabilité fortuite. Il faut, de toute nécessité, faire intervenir une poussée qui entraîne la vie vers une plus parfaite croissance, vers plus de complexité, vers plus de différenciation. Cette poussée, *c'est la vie elle-même*, qui nous apparaît ainsi comme une immense puissance d'organisation dont la matière a été dotée un jour par le Créateur. Profond mystère, à coup sûr, devant lequel il est bienfaisant de se redire les paroles de Pascal : « Toutes choses sont sorties du néant et portées jusqu'à l'infini. Qui suivra ces étonnantes démarches ? L'auteur de ces merveilles les comprend ; tout autre ne le peut faire ».

Chanoine V. Grégoire,
Professeur à l'Université de Louvain.

VARIÉTÉS

I

UNE COSMOGONIE MATHÉMATIQUE

Deux ans avant sa mort, G. Darwin écrivit que de nouveaux progrès ne seront pas possibles en cosmogonie tant que la connaissance des figures d'une masse gazeuse ne sera pas plus avancée. Peut-être est-ce cette remarque qui fit choisir le sujet suivant pour le prix Adams de l'Université de Cambridge en 1917 : L'étude des configurations possibles d'une masse fluide pesante en mouvement de rotation, et de leur évolution, y compris la discussion de leur stabilité. Ce prix fut décerné à M. Jeans, et les recherches de ce savant sur cette question ont été publiées dans un ouvrage récent que je me propose d'analyser (1).

L'observation

Le problème cosmogonique s'est posé pour la première fois, sous la forme moderne, lors de la découverte des satellites de Jupiter par Galilée, en 1610 : il y a similitude entre le système de ces satellites et le système des planètes ; cette similitude permet de croire à une cause commune, dont la recherche fait l'objet de la cosmogonie. Depuis l'époque de Galilée, la probabilité de l'existence de cette cause s'est accrue énormément par la découverte de mouvements planétaires de plus en plus nombreux, presque tous dans le même sens, généralement suivant

(1) Problems of Cosmogony and stellar Dynamics, *being an Essay to which the Adams Prize of the University of Cambridge for the Year 1917 was adjudged*, par J. H. Jeans, professeur émérite de l'Université de Cambridge. Un vol. grand in-8° de VIII-288 pages. — Cambridge, University Press, 1919.

des orbites peu excentriques et dans des plans peu inclinés l'un sur l'autre. Mais il faut aussi considérer les masses, et, en particulier, les masses des satellites vis-à-vis de celles des planètes autour desquelles ils gravitent. Or, tandis que les rapports de ces masses sont ordinairement de très petites fractions (comme de 1/11 000 à 1/59 000 pour les quatre principaux satellites de Jupiter), il y a exception pour la Lune vis-à-vis de la Terre, où le rapport des masses est 1/82.

Passant du système solaire au système stellaire, nous y trouvons, en moyenne, sur trois étoiles, une étoile double, avec ce fait étranger au système solaire que le rapport des masses des composantes est voisin de l'unité. Supposons-nous placés à une distance du Soleil telle que celui-ci paraisse une étoile double où le compagnon serait Jupiter, la plus grosse de ses planètes : le rapport des masses des composantes de ce système serait de l'ordre de 0,001. Dans les étoiles doubles, au contraire, la moyenne de ce rapport est placée entre 0,69 et 0,79.

Les nébuleuses sont classées en nébuleuses spirales, planétaires (ou sphéroïdales), elliptiques (ou lenticulaires), annulaires et irrégulières. Or, des 500 000 nébuleuses dont les instruments d'aujourd'hui permettent l'examen, la moitié sont des nébuleuses spirales, et c'est sur celles-ci que se concentre d'abord l'attention. Leurs vitesses de translation sont énormes : la nébuleuse spirale d'Andromède se déplace à raison de 300 kilomètres par seconde ; on a trouvé 1120 kilomètres pour la nébuleuse de la Baleine, 1180 pour celle de la Vierge ; et la vitesse moyenne de ces formations se place entre 300 et 400 kilomètres par seconde, vingt fois la vitesse moyenne d'une étoile. Leurs vitesses de rotation ne sont pas moins remarquables. La première fut constatée en 1914, dans la nébuleuse de la Vierge : celle-ci tourne comme une masse indéformable, de manière qu'à une distance angulaire de 2′ à partir du centre (pour l'observateur terrestre) sa substance est animée d'une vitesse de 330 kilomètres par seconde. Les autres nébuleuses spirales étudiées jusqu'ici présentent des vitesses de rotation du même ordre. Une nébuleuse de la Grande Ourse ne tourne pas comme un corps rigide : sa vitesse angulaire est plus grande dans le voisinage de son centre, et, à 5′ de celui-ci, la période de mouvement est d'environ 85 000 ans.

Ces grandes vitesses sont caractéristiques des nébuleuses spirales. Les nébuleuses irrégulières sont presque immobiles, et les autres ont des vitesses de translation dont la moyenne est

voisine de 65 kilomètres par seconde, de l'ordre des vitesses des étoiles. — Ceci semble indiquer que les nébuleuses non spirales font partie de notre système stellaire, et se meuvent avec lui, tandis que les nébuleuses spirales en sont indépendantes et lui sont extérieures. — La distribution des nébuleuses dans le ciel confirme cette conclusion. Tandis que les nébuleuses non spirales s'observent dans le voisinage de la voie lactée, les nébuleuses spirales sont de plus en plus nombreuses à des distances angulaires de plus en plus grandes du plan galactique, ou plan moyen de la voie lactée. C'est que le groupe stellaire auquel appartient notre Soleil a une forme telle qu'on peut y comparer la distribution des étoiles à celle des particules métalliques dans une pièce de monnaie ; nous sommes voisins du centre de cette figure, et le plan galactique peut être assimilé au plan de symétrie de celle-ci, parallèle à ses faces ; en perspective, les nébuleuses qui lui appartiennent se projettent nécessairement dans le voisinage de ce plan. Au contraire, si les nébuleuses spirales sont indépendantes de ce groupe stellaire, elles se rencontrent indifféremment dans toutes les directions, et la faiblesse de leur éclat les rend d'autant moins perceptibles que, plus voisines du plan galactique, elles sont davantage effacées par les objets célestes plus nombreux dont le perspective se superpose à la leur.

Aux nébuleuses spirales s'opposent en particulier les nébuleuses planétaires, annulaires et lenticulaires. Les premières sont peu nombreuses, 150 sur 15 000 étudiées jusqu'ici, et présentent, outre leur ressemblance, des caractères communs : elles fournissent un spectre d'émission, un spectre de lignes brillantes, comme les gaz incandescents. Les nébuleuses annulaires ne s'aperçoivent jamais sous forme d'ovale très allongé ; aussi ces formations sont-elles interprétées, non comme des anneaux, mais comme des globes ellipsoïdaux creux, dont la matière est moins transparente dans le voisinage du contour perspectif, où elle présente une plus grande épaisseur dans la direction du rayon visuel. Quant aux nébuleuses allongées, ce ne peuvent guère être que des nébuleuses planétaires relativement plates vues par la tranche, ou à peu près.

Il y a lieu, enfin, en vue du problème cosmogonique, de tenir compte des amas d'étoiles, et, particulièrement, des amas globulaires. Ceux-ci sont des groupes d'étoiles dont la condensation augmente rapidement vers le centre. On en connaît environ 80. Leur distribution dans le ciel a quelque chose de surprenant : presque tous appartiennent à un même hémisphère, et, bien

plus, il existe une direction dont la moitié des amas globulaires ne s'écartent pas de plus de 30°. Leurs vitesses sont de l'ordre de celles des nébuleuses spirales, et, pour autant que leurs distances puissent être estimées, elles semblent devoir s'exprimer par un nombre voisin de 30 000 années de lumière. Les amas sont extérieurs au groupe stellaire auquel nous appartenons : dans la classification des formations célestes, c'est à une même catégorie qu'appartiennent ce groupe et ces amas.

Le Soleil et ses planètes, ainsi que chacune de celles-ci et ses satellites, les étoiles doubles, les nébuleuses spirales, les nébuleuses planétaires, les amas globulaires, — telles sont les cinq formations célestes à propos de chacune desquelles le problème cosmogonique se pose d'une manière différente.

La théorie

M. Jeans n'a pas voulu résoudre ces problèmes à coups d'hypothèses. Il ne s'est pas proposé d'en atteindre la solution : « la cosmogonie, dit-il, n'en est pas encore à l'âge des conclusions » ; mais il a cherché une voie sûre dans l'étude dynamique d'une masse gazeuse, pour se mettre à même de considérer successivement diverses hypothèses, et de peser, en connaissance de cause, les avantages et les inconvénients de chacune d'elles.

L'étude dynamique d'une masse gazeuse en rotation comporte un double problème : Quelles sont les figures d'équilibre de la masse donnée ? et l'équilibre est-il, pour chacune d'elles, stable ? — Cette partie de l'ouvrage de M. Jeans (l'essentielle, et la plus longue) fait appel à l'analyse la plus savante, et le langage ordinaire lui sied fort peu. Parmi les figures d'équilibre, voici les ellipsoïdes de révolution, les ellipsoïdes à trois axes inégaux, les figures annulaires, les figures piriformes, animées de vitesses angulaires assez faibles pour que leur stabilité soit assurée. Mais les vitesses augmentent, atteignent des valeurs critiques, et la stabilité disparaît : la figure ellipsoïdale aplatie en une lentille que limite une arête vive, laisse échapper la matière le long de cette arête ; et il suffit de la moindre dissymétrie dans le champ de forces, le moindre écart par rapport à une figure de révolution, pour que cette fuite de matière se fasse uniquement en deux points de l'arête diamétralement opposés. Mais que, plutôt, une influence extérieure variable, comme le passage d'une masse suffisante, vienne modifier le champ de forces : une marée se produit qui boursoufle la figure d'équilibre, et ce peut-être au

point qu'un jet de matière fuse de la masse : cette matière trouvera sa position d'équilibre en un sphéroïde nouveau continuant de tourner autour de l'axe primitif, ou se distribuera en un chapelet de sphéroïdes désormais indépendants dont la rotation décèlera l'origine commune.

Ces théories viennent retrouver les différentes formations célestes dont on cherchait l'explication, et les schémas géométriques que l'analyse vient d'imposer, nous les retrouvons dans les photographies que reproduisent les magnifiques planches de cet ouvrage. Les amas globulaires et les nébuleuses planétaires présentent les figures d'équilibre des masses en rotation suffisamment lente. Dans une nébuleuse planétaire dont la vitesse angulaire augmenterait, se formeraient l'arête vive que nous montre le profil des nébuleuses lenticulaires, puis les bras d'une nébuleuse spirale. Les ruptures d'équilibre que produirait le passage d'un astre perturbateur dans le voisinage d'une masse sphéroïdale transformeraient celle-ci dans un système semblable à celui d'une étoile double. Quant au système planétaire et aux systèmes satellitaires, l'accroissement de vitesse ne peut être une explication admissible : les vitesses constatées aujourd'hui sont trop faibles : est-ce le passage d'un astre qui a fait jaillir un flux de matière qui se serait ensuite condensée en plusieurs noyaux ?

L'interprétation

Encore que M. Jeans ne veuille pas construire une hypothèse cosmogonique nouvelle, il ne se refuse pas à dire, en particulier pour notre univers galactique, quelle est celle qui, confrontée avec la théorie, aurait ses préférences. « In so far as one conclusion has seemed to us more probable than another, it has been something of the following kind » : une masse gazeuse sphéroïdale d'une extrême ténuité, en rotation lente, perd de l'énergie par radiation et se contracte ; sa vitesse angulaire augmente, et la figure sphéroïdale devient lenticulaire ; l'accroissement de vitesse rompt l'équilibre, la matière fuse par le bord, en deux points opposés, et la matière cosmique en est à la phase de la nébuleuse spirale ; les bras spiraloïdes se condensent autour de noyaux indépendants ; dans chaque noyau, la contraction augmente, la vitesse croît, parfois jusqu'à une nouvelle rupture d'équilibre, d'où naît une étoile double, et la température s'élève jusqu'à l'incandescence. Voilà notre univers galactique. — Remontons à l'époque où l'une des étoiles, notre futur Soleil,

était encore sombre et froide, et d'une densité assez faible pour que son rayon soit comparable à celui de l'orbite actuelle de Neptune. Qu'une étoile massive passe dans son voisinage. Un jet de matière s'élance vers l'astre troublant, se refroidit par radiation jusqu'à passer à l'état liquide et se condenser autour de noyaux, d'abord à ses extrémités pour former les petites planètes, puis à son milieu pour former Jupiter et Saturne, et toutes les planètes conservent la vitesse orbitale que lui a communiquée l'attraction de l'étoile perturbatrice. Sur chacune d'elles, les marées solaires, par le même processus, créent les noyaux satellitaires. Telles sont les grandes lignes. Les détails ne s'y placent pas sans quelques difficultés. « Le système qui nous intéresse le plus, le système Terre-Lune, est justement celui à propos duquel il est le plus difficile de conclure ; car le système Terre-Lune est exceptionnel dans le système des planètes, précisément comme le système solaire auquel il appartient semble exceptionnel, si pas unique, dans les systèmes des étoiles. »

Quelle est la durée nécessaire à cette évolution ? — On sait depuis Lord Kelvin que la masse du Soleil, passant d'une extrême ténuité nébulaire à son état actuel, n'aurait accumulé de l'énergie que pour une radiation de 20 millions d'années ; mais ne peut-il y avoir d'autres sources d'énergie ? — Les estimations géologiques sont souvent discordantes, et les découvertes récentes dans le domaine de la radioactivité doivent les modifier : elles se groupent cependant de manière à faire attribuer à la Terre un âge d'environ 250 millions d'années. — Quant à l'Astronomie, elle demande 320 millions d'années pour la durée moyenne du passage d'une étoile à travers l'univers galactique, et une même durée moyenne pour la révolution d'une étoile dans un plan peu incliné sur le plan galactique. L'uniformité statistique de la distribution des positions et des vitesses actuelles des étoiles permet de croire que plusieurs de ces révolutions se sont effectuées : disons dix pour fixer les idées, et ceci pourrait faire conclure à une évolution de notre univers galactique qui aurait demandé 3200 millions d'années. Ce nombre doit être corrigé, car le monde actuel n'est pas encore très éloigné de son expansion primitive, et, si le nombre de dix révolutions est admissible, on doit tenir compte de ce que la première n'a duré que 160 000 années. Ainsi la durée totale doit être estimée plutôt à la somme des dix termes d'une progression géométrique allant de la période initiale de 160 000

à la période actuelle de 320 millions d'années, et cette somme est égale à 560 millions. Il suffit d'attribuer la première moitié de cette durée à l'évolution stellaire, la deuxième à l'évolution terrestre, pour retrouver à peu près les estimations géologiques. Quant aux énergies à ajouter à l'énergie de gravitation pour combler le déficit de Lord Kelvin, ce ne peut être ni l'énergie chimique, ni l'énergie radioactive, négligeables vis-à-vis de la première ; et s'il peut paraître vain d'invoquer des énergies inconnues, on peut déjà rappeler que la matière n'est plus considérée comme indestructible avec la même fermeté que jadis, et remarquer que la destruction d'un centième de la masse du Soleil libérerait une énergie capable d'entretenir la radiation solaire pendant 150 000 millions d'années. — Cette hypothèse d'énergies inconnues n'est même pas nécessaire si l'on tient compte de ce que les trois quarts de l'énergie de gravitation du Soleil ont pu être rayonnés depuis les 15 millions d'années que cet astre est lumineux, tandis que le premier quart de cette énergie a suffi à entretenir son rayonnement pendant la période obscure de son existence.

M. Alliaume.

II

A PROPOS D'ANNOTATIONS MÉTÉOROLOGIQUES ANCIENNES

—

Les observations météorologiques régulières et scientifiques en Belgique, sont de date récente. A. Quetelet les commença en 1833 à l'Observatoire de Bruxelles, et elles se sont poursuivies depuis lors sans interruption.

Mais pour la période antérieure à 1833, quelles informations avons-nous sur les événements météorologiques de notre pays ? Les quelques courtes séries d'observations faites à la fin du XVIIIe siècle et avant cela un grand nombre d'indications, consignées par nos ancêtres dans des chroniques, annales, livres de famille, etc. Celles-ci n'ont jamais été jusqu'ici ni recueillies ni rapprochées. Je me suis attaché à rechercher, à réunir et à présenter dans leur ordre chronologique ces informations,

disséminées dans les nombreux ouvrages qui constituent les sources de notre histoire. En général, je n'ai consulté que les documents imprimés ; exceptionnellement j'ai eu recours aux sources manuscrites. Limité de la sorte, le travail était encore considérable : les publications dans lesquelles j'ai pu trouver des indications d'ordre météorologique sont au nombre de 210, la plupart latines ou flamandes, et il faudrait y ajouter les nombreux ouvrages consultés sans ou presque sans résultat. Je me propose d'émettre dans cette communication, quelques appréciations sur le caractère et la valeur des indications ainsi rassemblées (1).

Les chroniqueurs les plus réputés ne s'intéressaient guère aux phénomènes atmosphériques. Les annotations sur ce sujet se rencontrent plutôt dans les œuvres d'historiographes plus obscurs, plus humbles, par exemple des cénobites ou des prêtres, particulièrement préoccupés de la bonne venue des récoltes et de la subsistance des populations. Quelques livres de famille en contiennent aussi. Les chroniqueurs politiques de marque parlent peu en général des événements de l'air. Il en est de même de beaucoup de chroniqueurs monastiques, chargés plutôt de la rédaction des rapports sur les affaires financières, négociations, etc., traitées par leurs supérieurs. Ainsi, dans la grande chronique de Gislebert de Mons et dans celle encore plus étendue de St Hubert, je n'ai trouvé qu'une mention de phénomène météorologique. Ce sont là des exemples pris au hasard. Et cependant, on le constate en les étudiant de près, les événements militaires, économiques ou politiques sur lesquels les auteurs s'étendent longuement, furent maintes fois influencés par l'état du temps.

(1) L'intérêt que peuvent présenter la recherche et la coordination des annotations météorologiques anciennes, a été mis en relief maintes fois. Déjà A. Quetelet avait conçu l'idée de dresser un catalogue de phénomènes météorologiques anciens (de Ram : BULL. DE L'ACAD. ROYALE DE BELGIQUE. T. IX, 1re part. pp. 54 et suiv.). On ne connaît toutefois de lui, qu'une liste sommaire de températures remarquables et de débordements de la Meuse (*Météorologie de la Belgique comparée à celle du globe*. Bruxelles, 1867, pp. 326 et 389). De même M. J. Vincent a exprimé le vœu de voir publier les renseignements anciens relatifs au temps (*Aperçu de l'histoire de la météorologie en Belgique* dans ANNUAIRE MÉTÉOR. DE L'OBSERV. ROYAL, 1901, p. 68 ; 1902, p. 171). Enfin, la Conférence météorologique internationale réunie en 1905 à Innsbruck, a reconnu utile de rechercher dans les documents historiques des divers pays, les renseignements sur les phénomènes météorologiques anormaux. Cette recherche pourrait même, déclare-t-elle, faire l'objet d'un concours académique (*Rapport de la Conférence météorologique internationale. Réunion d'Innsbruck*. Paris, Imprimerie nationale, pp. 14 et 15).

La nature des faits météorologiques enregistrés, la manière dont les annalistes les présentent, varient et reflètent dans une certaine mesure, les notions de leur époque sur ces phénomènes.

Dans les chroniques médiévales les plus anciennes, les annotations sont généralement concises : le moine, qui dans sa cellule annote un hiver rigoureux par la simple mention : *hyemps asperrima,* sans commentaires de nature subjective, apparaît comme le précurseur de l'observateur moderne, qui représente cet hiver par des données thermométriques positives. Ces annales les plus primitives rappellent les « tabulae pontificum », sur lesquelles les prêtres de la Rome païenne consignaient brièvement divers événements, y compris des phénomènes météorologiques, dont certains nécessitaient des rites spéciaux. Plus tard, les remarques deviennent plus longues, plus empreintes d'émotion. Quelques-unes sont fort imagées ou d'une douce naïveté. Souvent les narrateurs ont recours à la poésie. Enfin, dans un troisième stade on constate une certaine déformation du fait, sous l'influence d'idées religieuses ou superstitieuses. Il faut arriver à la fin du XVIIIe siècle, pour retrouver des rapports plus condensés et de caractère scientifique.

Les annotations sont donc de valeur très inégale. Tandis que certaines sont des modèles de concision, et dénotent de la part de leur auteur un réel esprit d'observation, on constate en d'autres, que l'homme s'est substitué à la nature ; son imagination et son ignorance ont déformé les phénomènes. Pour lui, un accident atmosphérique quelque peu extraordinaire prend les proportions d'un miracle, d'un châtiment divin ou d'un prodige envoyé en avertissement aux hommes. Par amour du merveilleux il signale, à côté d'événements importants, des faits qui font sourire : naissance de coqs à quatre pattes, retour à l'état sauvage de quelques animaux domestiques, pluies de sang, etc. Les nuages orageux, aux dimensions énormes et aux formes tourmentées, passent pour des guerriers ou des dragons en bataille ; le suintement, par le feuillage de certains arbres, d'une matière sucrée (miellée) devient une pluie de miel ; la pluie chargée de composés ferrugineux, est prise pour du sang ; le pollen transporté par le vent, pour du soufre, etc. Il y eut aussi des pluies de crapauds, de grenouilles, de froment. A la description d'un orage intense, d'une tempête violente, s'associait instinctivement l'idée de la fin du monde. Un rude hiver est présenté comme sans précédent dans l'histoire. Certaine chronique rapporte qu'en 1243, des grêlons tombés à Crémone

portaient en lettres d'or, l'inscription I. N. R. I. Parmi les phénomènes optiques ayant excité la verve de certains chroniqueurs, comme aveuglés par un mysticisme des météores, il faut citer l'apparition de croix ou de mains lumineuses, de glaives flamboyants ; vraisemblablement, ce furent des lueurs crépusculaires, des aurores boréales ou des halos partiels. Mais que dire des croix de diverses formes et couleurs qui, en 1501 et à d'autres époques, apparurent sur les vêtements et objets de lingerie, et dont quelques chroniqueurs, témoins oculaires, font de longues descriptions ? Elles resteront une énigme.

Un phénomène météorologique attirait davantage l'attention, pour peu qu'il survînt à certains jours ou époques. Un coup de tonnerre le 1er janvier, le Vendredi-Saint, à Pâques ou à la Noël, un orage au milieu de l'hiver causaient généralement de la stupéfaction. L'idée qu'une comète était le signe précurseur d'événements malheureux, amène certains chroniqueurs à s'appesantir sur les phénomènes subséquents, à les amplifier au besoin ; parfois le chroniqueur, après avoir signalé l'apparition d'une comète, fait remarquer qu'ensuite le temps est néanmoins resté bon. A propos des phases lunaires, de la position des planètes, on fait les mêmes constatations car, chez beaucoup d'intellectuels, l'astrologie étouffait les quelques saines notions scientifiques. Il est à craindre, on le voit, que les chroniqueurs n'aient été amenés à porter de petites atteintes à la vérité, dans le seul but de confirmer des opinions reçues. De là des exagérations et peut-être des réticences.

Le choix des phénomènes enregistrés est à remarquer. Leur importance semble avoir été mesurée à leur répercussion sur la vie économique.

Les hivers rigoureux et les étés anormaux, par sécheresse ou humidité, tiennent le premier rang. Viennent ensuite les inondations, autrefois plus fréquentes et plus graves, les ouragans, les orages, les gelées précoces ou tardives, les périodes de calme empêchant le fonctionnement des moulins à vent, les fortes gelées qui présentaient le même danger pour les moulins à eau. Les hivers doux sont moins fréquemment signalés.

A partir du XVIe siècle, les phénomènes météorologiques extraordinaires sont souvent décrits, généralement avec emphase, dans des pamphlets imprimés (vlugschriften), vendus au public. Ces pamphlets, dont certains en vers et mis en musique, étaient

très en vogue dans les Pays-Bas et en Allemagne (1). D'autres fois, le souvenir des calamités atmosphériques était perpétué par des épigrammes, chronogrammes ou inscriptions sur les monuments.

De cette étude des annotations anciennes que faut-il conclure au sujet de leur utilité? J'ai déjà fait remarquer leurs fréquentes exagérations. Beaucoup de chroniqueurs racontent des faits qu'ils ont non pas observés, mais entendu raconter. Les annotations antérieures au xve siècle imposent en général des réserves particulières, parce que beaucoup de chroniqueurs médiévaux commencent leur journal « ab ovo » et racontent des faits remontant aux époques les plus reculées. Ils transcrivaient des chroniques existantes et celles-ci n'étaient souvent déjà que des copies. De là des erreurs, spécialement dans les dates. A cet égard, la série des hivers rigoureux est intéressante à examiner. Fréquemment ces hivers sont mentionnés pour deux ou trois années consécutives, et cela dans des termes à peu près identiques, p. ex. aux années : 859-860, 1125 à 1128, 1140 à 1142, 1164 à 1166, 1307 à 1309, 1362 à 1364. Il est à supposer qu'il ne s'agit en réalité chaque fois que d'un hiver. Il peut y avoir eu erreur de copie dans les millésimes. En outre, un hiver se répartissant sur deux années, un auteur attribuera par exemple celui de 1362-1363 à 1362 et un autre à 1363. De là des confusions. Il est logique, en général, d'admettre comme date exacte la deuxième année. Une autre source de difficultés et d'erreurs, c'est la diversité des manières de dater. Elle n'a disparu qu'après l'année 1575, quand le calendrier grégorien fut définitivement adopté.

A mon avis, les seules indications utiles dans les chroniques au point de vue climatologique ou météorologique, sont celles relatives au caractère général d'une saison ou d'une année. Quelques chroniqueurs ont laissé des résumés climatologiques satisfaisants. Somme toute, il n'y a à retenir que les faits débarrassés de tous les développements inutiles ; encore ne faudra-t-il les admettre que moyennant toutes les précautions de la critique historique.

É. Vanderlinden,
Météorologiste à l'Institut royal d'Uccle.

(1) Un des derniers pamphlets de ce genre, publié en Belgique, semble être celui consacré à la pluie diluvienne de la nuit du 4 au 5 juin 1839, et qui fut si désastreuse pour le hameau de Borght sous Vilvorde et d'autres localités du Brabant. J'ai retrouvé ce curieux document dans un « Varia » de la Bibliothèque royale intitulé : Bruxellensia (II 18590 A).

III

LES POSTES RADIOTÉLÉGRAPHIQUES AU CONGO BELGE

—

Dans le domaine de la physique, on réalisa rarement, croyons-nous, d'aussi rapides et d'aussi constants progrès que dans la télégraphie sans fil.

Émission par onde amortie ronflée, puis chantée, puis par onde entretenue ; réception par cohéreur de Branly, par détecteur électrolytique ou à cristal, enfin par lampe valve ; émission dont la puissance monte de cinq à cent cinquante, à quatre cents et même à mille Kilowatts et plus ; réception sur antenne simple et à un fil, et puis sur antenne de plus en plus longue et à forme variée, enfin sur cadre ; tout cela s'est succédé dans un tel tourbillon de vitesse qu'une seule génération put assister à l'éclosion magnifique du nouveau moyen de communication. Peut-être en verra-t-elle encore la pleine maturation.

Tout progrès cependant présuppose une part de tâtonnements, entraîne des contre-coups et de : difficultés d'autant plus sensibles qu'il est plus rapide, mais qui stimulent l'ardeur, l'audace de ses promoteurs et décuplent leur mérite.

La Belgique a, pour une bonne part, contribué au progrès de la science radiotélégraphique, et ce, grâce à Sa Majesté le Roi Albert. C'est à son initiative en effet qu'est due la fondation à Laeken, dès avant la guerre, d'un poste radiotélégraphique intercontinental des plus puissants et des plus perfectionnés ; c'est grâce à ses dons généreux que dans notre colonie se dessinaient les grandes lignes d'un vaste réseau intercontinental et régional. Il confia l'exécution de cette œuvre difficile à MM. Robert Goldschmidt et Raymond Braillard. L'histoire de cette entreprise, plus pénible peut-être au Congo qu'ailleurs, est racontée par eux-mêmes dans un livre (1) où on ne sait ce qu'il faut admirer le plus, leur persévérante ténacité à vaincre ou à tourner les obstacles, ou le résultat magnifique obtenu par des

(1) *La télégraphie sans fil au Congo belge*. Une œuvre du Roi, par MM. Robert Goldschmidt et Raymond Braillard, un vol. de 180 pages (16 × 25) illustré de 79 gravures. — Bruxelles, Dewit. Hayez, 1920.

moyens aussi précaires. Nous allons parcourir rapidement ce volume, nous attardant quelque peu aux points principaux.

« Gouverner, commercer, c'est télégraphier ». Ces premiers mots du livre disent assez le dessein des auteurs. Nous possédons une colonie magnifique. Voulons-nous la gouverner, en tirer par le commerce tout ce que nous sommes en droit d'en attendre, nous devons être en communication télégraphique avec elle. Or, les lignes télégraphiques sous-marines actuelles sont la propriété d'autres puissances ; nous sommes donc à la merci des accidents et des difficultés internationales et du caprice des compagnies dont l'intérêt est d'augmenter le tarif télégraphique.

Quelles difficultés n'eût pas éprouvées l'Allemagne, si, privée, comme elle l'a été, de ses câbles sous-marins dès le début de la guerre, elle n'avait eu à sa disposition les puissantes stations radiotélégraphiques qui lui permirent de rester en communication constante avec les neutres ?

Inutile, d'autre part, de songer à poser nous-mêmes une ligne télégraphique. Le coût d'un tel travail et les difficultés d'entretien suffiraient à en écarter l'idée. Il nous reste donc à construire des stations radiotélégraphiques assez puissantes pour assurer un échange régulier de messages entre la Belgique et le Congo. Cette entreprise est d'une nécessité incontestable.

Mais j'entends l'objection. Pourquoi, dans la colonie tout au moins, ne pas se borner à compléter le réseau existant de lignes télégraphiques ? Les auteurs répondent d'une façon péremptoire. Nous possédons, en effet, 3000 kilomètres de lignes mais ne constituant pas un ensemble cohérent. Relier tous ces tronçons et les rattacher à des postes nouveaux, c'est s'exposer à des dépenses énormes pour un résultat bien aléatoire. Une tornade, un passage de buffles ou d'éléphants, et voilà le réseau rompu ; ne le fût-il que sur une longueur de quelques mètres, le trafic en subirait un arrêt de plusieurs jours, si pas de semaines entières.

Voici d'ailleurs un calcul bien simple. Une liaison directe radiotélégraphique de 1000 kilomètres entre deux postes, revient à 1,5 million ; une liaison radio par chaîne de cinq postes sur 1000 kilomètres coûte le même prix. La pose d'une ligne télégraphique ordinaire de même longueur coûterait six fois plus ! La conclusion s'impose.

C'est ce que le Roi a parfaitement compris. Grâce à son impulsion pressante et à l'activité de M. Goldschmidt, nous possédons

à l'heure actuelle un joli réseau colonial de quinze postes radiotélégraphiques, et ce ne peut être que l'esquisse d'un réseau plus serré.

Cette vaste organisation ne se fit pas sans difficultés, cela va sans dire. Il suffira de rappeler que la Belgique devait tout fournir à la colonie, et que dès le début de la grande guerre celle-ci se vit couper toute aide du côté de la métropole.

Mais dans la pratique de communications radiotélégraphiques, il est deux causes de considérables ennuis qui prennent au Congo une importance toute particulière. Aussi devons-nous en parler avec quelques détails. Ce sont d'abord les perturbations atmosphériques ou les bruits parasites.

Tout amateur de T. S. F. a eu de ces jours de découragement, où, assis à sa table d'écoute et tout à la recherche de quelque poste nouveau, il ne perçut qu'un crépitement énergique et persistant. Au début, ce fut chez lui de l'étonnement. Serait-ce quelque poste nouveau et très puissant? Mais aucune suite intelligible dans ces bruits désagréables, et qui font mal au tympan. Lassé, par une manœuvre patiente de curseurs et de condensateurs, il a essayé d'éliminer l'intrus. Peine perdue. Le crépitement devenait de plus en plus nourri ; à bout de ressources le malheureux sans-filiste a déposé les écouteurs et s'est occupé d'autre chose. Quelques heures après, un orage éclatait : c'était lui qui longtemps à l'avance avait annoncé sa bruyante et désagréable visite.

Chose grave encore. A certains jours, ou plutôt à certains moments de la journée, de dix heures du matin à cinq heures du soir, des postes que l'on entendait parfaitement le matin et le soir surtout, ne s'entendent plus ou très péniblement.

Phénomène incompréhensible au sans-filiste débutant, incomplètement expliqué d'ailleurs, et défini par les savants : absorption solaire. Tels sont les deux grands obstacles à une bonne réception. Or, s'ils causent des déboires aux Belges fervents de T. S. F., que sera-ce pour leurs émules du Congo?

Là-bas, en effet, orages, ouragans, tornades sont à l'ordre du jour, si pas sur place, du moins aux environs.

Et que dire du soleil qui, douze heures à la suite, de six heures du matin à six heures du soir, darde ses rayons cuisants? Songez donc, au Congo, un poste radiotélégraphique qui porte à 1500 kilomètres la nuit, n'en atteint plus que 200 le jour!

Un mot d'abord des parasites.

Lisez les diagrammes des radios de presse de FL par temps orageux. Çà et là au milieu du tracé un brusque et rapide écart: c'est le coup de foudre qui est venu influencer l'antenne réceptrice. Mais qu'est cela en regard des diagrammes des postes congolais? En 45 secondes ce ne sont pas seulement des hachures, mais un tracé continu et obstinément noir, sous le va-et-vient affolé du point inscripteur. L'amplitude de ces hachures débordant celle du trait du poste émetteur explique l'impossibilité absolue de l'écoute.

Autre preuve de la violence des parasites : deux fois par jour ils font sauter la pointe du détecteur.

Et ce n'est pas là régime exceptionnel. Jugez-en : en novembre 1916, six jours d'orage ; en janvier 1917, 16 jours ; en mars 1917, 14 ; en juillet de la même année, 10.

Mais tout orage éclatant sur l'un quelconque des points de la colonie aura-t-il sa répercussion sur chaque poste de T. S. F.?

Un poste émetteur ne devient inutilisable, et même dangereux, qu'au moment où l'orage éclate au-dessus de lui. Un poste récepteur, d'après M. Goldschmidt, ne serait influencé par l'orage que dans un rayon de 200 kilomètres. Ainsi l'objection, sérieuse à première vue, tirée de ce que les perturbations atmosphériques rendraient les postes inutilisables une partie de l'année, tombe d'elle-même, puisque jamais tous les postes ne seront simultanément réduits au silence et à la surdité. D'autre part, c'était là la situation au début ; depuis on a fait des progrès, nous le verrons plus loin. On est parvenu à réduire à un petit nombre d'heures le temps où l'écoute deviendra effectivement impossible.

D'ailleurs les lignes télégraphiques ou téléphoniques ordinaires, parcourant de vastes régions, sont également sous l'action presque constante des orages. Jugez-en d'après les exemples suivants : sur la ligne télégraphique Léo-Coquilhatville il ne se passe guère de jours sans interruption de service. En octobre 1917, il y eut 23 jours d'interruption, souvent avec des périodes d'arrêt complet du trafic pendant plusieurs jours.

La valeur réelle des communications radiotélégraphiques du Congo varie de mois à mois. Elle est étroitement fonction de la variation mensuelle de l'activité parasitaire. Or celle-ci coïncide remarquablement avec l'allure des saisons réglée par la marche du soleil. Pour un endroit déterminé le maximum des parasites aura lieu lors du passage solaire au zénith de ce lieu : ce fait se produit deux fois par an en tous les points du Congo.

Le soleil qui occasionne les parasites, provoque aussi l'absorption des ondes, et ce parce que ses rayons ultra-violets ionisent les couches supérieures de l'atmosphère. Cette absorption sera en proportion inverse de l'obliquité des rayons solaires sur la verticale du lieu. Aussi, pour des points situés à quelques degrés seulement de l'équateur, l'absorption par rayons ultra-violets aura quasi doublé.

On eût pu se contenter des quelques heures de calme atmosphérique et de fraîcheur de chaque jour pour satisfaire à un trafic peu important au début. L'a-t-on fait ? On s'est décidément mis à l'œuvre de façon à pouvoir émettre, et surtout recevoir, à n'importe quel moment du jour et de l'année.

Comment a-t-on surmonté l'absorption solaire ?

Imaginez-vous une cathédrale : chœur spacieux couronné d'un chevet de multiples chapelles, transept vaste comme une église, nefs larges et élancées, jubé où pourrait trouver place une nombreuse chorale ; supposez-y de petites orgues, un bijou d'orgues, n'ayant que les jeux doux et délicats. L'organiste joua-t-il à pleins jeux, vous n'entendriez rien ou fort peu de chose ; les sons seraient noyés, absorbés, engloutis par le jubé, par les nefs, le transept, le chœur et les chapelles. Au lieu du bijou, construisez de vastes orgues, aux jeux puissants, aux tuyaux gigantesques, de seize et trente-deux pieds. Et quand elles seront achevées, retirez-vous dans la chapelle la plus éloignée du spacieux édifice. Vous n'y perdrez rien des sons majestueux et graves.

Les premiers postes radiotélégraphiques installés au Congo ressemblaient fort à notre bijou d'orgues. Leurs ondes mesuraient de 600 à 800 mètres de longueur seulement, et l'énergique soleil tropical eut tôt fait d'absorber ces notes frêles et délicates.

Après de longs tâtonnements on constata que plus les ondes étaient longues, moins l'absorption se faisait sentir. Ce fut comme pour les grandes orgues de notre cathédrale.

On exigea donc pour tous les postes un minimum de 2000 mètres de longueur d'onde et on atteignit dans certains postes des longueurs de 4000 mètres et plus. Il est même prouvé qu'à partir de 6000 mètres l'absorption est chose négligeable.

Restait l'autre difficulté, les parasites.

La question était autrement ardue.

Au tribun, pour dominer et calmer une foule remuante et houleuse, il faut des poumons vigoureux et une voix retentissante.

Or, au Congo, la foule saccadée et crépitante des parasites vient comme à plaisir étouffer la voix du poste émetteur.

Criez plus fort, dira-t-on ! Un instant. Pour vaincre l'absorption solaire il a fallu augmenter la surface d'antenne. Or, pour crier plus fort des notes électromagnétiques aussi graves il faudrait des postes extrêmement puissants, en d'autres mots passer d'une puissance de quelques kilowatts, à des centaines de kilowatts. Je ne pense pas que la colonie puisse se payer le luxe d'un poste semblable à celui de Bordeaux, qui coûta la bagatelle de 33 000 000 de francs.

Il fallait donc s'orienter dans une autre voie.

Tout amateur d'électricité a fait fonctionner une bobine de Ruhmkorff. Il a vu la petite étincelle de quelques millimètres jaillir entre les éclateurs. Je dis : il a vu, et dirais mieux : il a cru voir. Au lieu d'une, en effet, il y en avait plusieurs à la seconde, une cinquantaine au maximum si la bobine possédait un interrupteur à marteau.

Dans les anciens postes congolais c'était la bobine de Ruhmkorff ou des alternateurs à cinquante périodes que l'on employait.

Malheureusement ceux-ci donnent dans le téléphone récepteur une tonalité fort grave, parfois bien difficile à discerner des bruits parasites. A ma connaissance, il n'y a plus, comme grand poste, que Paris qui emploie ce genre d'émission à ondes amorties roulées, et encore cinq minutes seulement et en pleine nuit, à 23.30 heures, comme s'il était honteux de se faire entendre de la sorte.

M. Goldschmidt a eu l'honneur de suggérer l'emploi d'alternateurs à 500 et 1000 périodes donnant 1000 et 2000 étincelles par seconde. Ces étincelles se succédant avec la fréquence des sons musicaux élevés, donnent naissance aux petites notes flûtées que nous entendions avec tant de plaisir avant la guerre. Précieux avantage ; par temps orageux on parvenait à les discerner parfaitement des parasites. Le sifflet ne perce-t-il pas les clameurs de la foule ? C'était là un fameux appoint pour la colonie.

Une autre méthode consiste à éliminer les parasites : manœuvre savante, patiente surtout, de condensateurs et de curseurs. Hélas ! le succès ne récompense pas toujours l'effort, et si on parvient à faire taire quelque peu l'insolite tapageur, ce sera au détriment de la réception claire et nette des postes émetteurs.

L'antenne étant influencée par les ondes et en même temps par les parasites, on a tâché de la transformer de telle sorte qu'elle reçût uniquement les premières.

Plus l'antenne est développée et élevée, plus elle recueille à la fois d'ondes et de parasites. On construira donc des antennes basses et unifilaires. Les résultats semblèrent devoir couronner les efforts. Pas toujours cependant, car en certains endroits les parasites se faisaient plus forts à proximité du sol. Il faut croire que la nature de celui-ci joue un rôle dans le phénomène.

Loin de se décourager, on imagina les antennes à étages. Un simple jeu de manettes permettait de choisir l'antenne la plus favorablement située.

Les recherches cependant se poursuivaient toujours. On utilisa l'antenne bobinée sur cadre. Celui-ci orienté dans la direction du poste émetteur ne recevait que ses ondes et moins fortement les parasites, mais ici encore au détriment de la réception, très faible par suite des petites dimensions de cette antenne intérieure.

Enfin en 1915 parurent les lampes valves qui devaient rendre d'inappréciables services aux armées et en rendront certes d'aussi grands à notre colonie.

Plus n'était besoin de craindre l'affaiblissement de l'audition par l'élimination des parasites. La lampe merveilleuse était là toute prête à amplifier, 5, 25, 125 fois, en proportion des ampoules employées, les courants trop faibles pour une audition directe.

Ceci suppose l'élimination parfaite et complète des parasites, me direz-vous. Or, en réalité, il n'en est jamais ainsi. N'amplifierez-vous pas en même temps les parasites ? Certes, mais dans une proportion fort amoindrie. Suivez ce petit raisonnement.

Voici une émission reçue sur antenne avec l'intensité 100 ; elle est brouillée par des parasites de même intensité. Relativement à l'intensité totale, celle des ondes régulières sera égale à 100 divisé par 100 + 100, soit 0,5. Réduisons les parasites de 100 à 1 et l'intensité des signaux de 100 à 10, nous obtenons pour l'intensité relative des ondes 10 divisé par 10 + 1, soit 0,909. Amplifions au moyen de la lampe valve le courant ainsi préparé, je suppose dans la proportion 10 ; l'intensité des signaux redeviendra égale à 100, celle des parasites ne sera plus que 10 et la réception devient, si pas excellente, du moins facile.

Les résultats obtenus au Congo grâce à cette méthode par M. Braillard furent concluants.

Peut-on espérer mieux encore ? Nous n'en doutons pas. Quand partout dans la colonie on aura remplacé les postes à étincelles amorties par les postes à ondes entretenues et que

d'autre part MM. Goldschmidt et Braillard auront mené à bien leurs persévérantes recherches, nous pouvons escompter des postes radiotélégraphiques qui n'auront rien à envier aux meilleurs d'Europe.

Donnons une description rapide d'un poste actuel de T. S. F. au Congo belge. Tout poste colonial étant mixte, c'est-à-dire émetteur et récepteur, il faudra considérer l'emplacement, l'antenne et sa prise de terre, le moteur, le générateur d'ondes, les appareils de réception et enfin dire un mot du personnel.

La superficie nécessaire est de cinquante hectares. Oh ! certes la place ne manque pas au Congo, mais une telle installation est une chose complexe faite de mille détails qui ont leur importance. Jugez-en. Proximité d'un centre d'Européens, accès facile, matériaux à portée, sous-sol solide, humide et bon conducteur, éloignement des forêts, montagnes, absence de marais, de moustiques, etc., voilà autant de desiderata imposés à la sagacité de l'ingénieur. La conclusion est que souvent il a fallu exécuter de rudes travaux, parfois même abandonner un poste déjà installé.

Les bâtiments, au début, ne furent pas toujours luxueux. Bientôt, heureusement, salles de machines, de réception et d'émission furent envoyées, en caisses, de la mère-patrie, prêtes au montage sur place.

Il est vraiment intéressant au sujet de l'antenne de parcourir les planches du livre ; on ne peut qu'admirer l'habileté de nos ingénieurs à utiliser les ressources précaires trouvées sur place. Ici, comme à Kindu, c'est un mât en bois de 65 mètres hissé d'une seule pièce ; là, comme à Stanleyville, c'est un arbre élevé, habilement aménagé en support d'antenne.

Ces supports toutefois ne furent que provisoires et bien vite remplacés par des pylônes haubannés dont le modèle avait été soigneusement étudié à Laeken. On le conçoit ; on ne pouvait songer à installer au Congo des pylônes comme ceux qui se dressaient jadis dans le parc royal de Laeken. La dépense eût été par trop forte. M. Goldschmidt adopta l'antenne en croix supportée par un pylône central de 60 à 100 mètres de haut et par quatre pylônes de trente mètres environ ; on gagnait en développement ce qu'on perdait en hauteur.

La prise de terre, cause de mécomptes pour bien des amateurs de T. S. F. et condition essentielle de bon fonctionnement et de bon rendement, était au Congo chose de délicatesse toute spéciale. Elle consiste en plaques de zinc enfouies sous le poste d'émission

et prolongées souvent par des fils de cuivre enterrés sous l'antenne et reproduisant son image en projection plane.

Passons à l'émission proprement dite.

Les moteurs occasionnèrent quelques ennuis. Ils étaient à quatre temps, à deux ou quatre cylindres, et pour la puissance, de douze à dix-huit chevaux; ils consommaient pas mal d'essence. Mais le transport de l'essence se faisant difficilement comme on peut assez aisément se le figurer, ceci pouvait devenir une cause d'arrêt temporaire. Aussi fit-on l'essai de semi-Diesel, monocylindriques à deux temps ; ils marchent au moyen de l'huile de palme qu'on trouve sur place et dont l'emploi tend à se généraliser au Congo. Un nouveau et sensible progrès fut réalisé de la sorte.

Les postes congolais utilisent la minime énergie de 5 kilowatts. Celle-ci leur est fournie par des alternateurs à courant monophasé d'une fréquence de 500 à 1000 périodes, ce qui, on se le rappelle, donne 1000 à 2000 étincelles à la seconde. Les condensateurs étaient primitivement construits en tubes de verre ou en mica. Ceux qui ont fait des envois au Congo savent combien l'arrivée indemne des marchandises au destinataire est aléatoire. Nombreuses furent les mésaventures des ingénieurs auxquels on envoyait d'ici des pièces aussi délicates et aussi fragiles. La casse était considérable. Aussi employa-t-on des condensateurs à lames de verre, plus économiques et plus résistants.

Pendant quelque temps on se servit de l'éclateur ordinaire : un tube et un plateau entre lesquels jaillit l'étincelle, soufflée énergiquement par un violent courant d'air. On dut l'abandonner cependant, le moindre changement dans la vitesse du moteur amenant une variation dans la résonance ; de plus, l'étincelle non-amortie émettant deux ondes de longueur différente rendait la syntonisation parfaite impossible pour le poste de réception. C'est un défaut qui récemment encore viciait l'émission de Paris pour les bulletins de météorologie et de presse.

On le remplaça par un éclateur à choc. L'étincelle est divisée en une série d'étincelles courtes rapidement amorties dans le circuit des condensateurs ; sous son impulsion oscille dans l'antenne une onde unique rigoureusement pure. On parvint à augmenter encore l'amortissement du circuit des condensateurs en disposant en quinconce des électrodes à large surface dans lesquelles, après le passage de la première étincelle, se produisent des effets d'induction s'opposant énergiquement au rallumage de l'étincelle.

Quelques mots seulement au sujet de la réception.

Au début on visa au minimum de volume pour les appareils de réception : selfs en boîte, condensateurs à diélectriques solides ou liquides ; tout cela pour la facilité du transport. Malheureusement le rendement et surtout la syntonisation laissaient fort à désirer.

On résolut de faire les choses en grand : selfs à large diamètre, condensateurs à diélectrique d'air, séparation parfaite de tous les instruments, d'où gain appréciable dans le rendement.

On utilise les détecteurs ordinaires à galène et surtout au carborandum et on y a ajouté, depuis 1917, les amplificateurs à lampes.

Bientôt sans aucun doute se généralisera l'emploi de la lampe, détectrice et amplificatrice. Ses qualités de sensibilité et de sélection sont incontestablement supérieures à tous les autres détecteurs connus.

Que dire à présent de la portée de ces différents postes ?

Avec 5 kilowatts, obtenir une portée de 2000 kilomètres, avouez que ce n'est pas banal, surtout au Congo. Mais ce n'est pas là un fait fréquent, ni surtout journalier ; d'ailleurs ce point de vue intéresse moins au Congo.

Une chose est plus importante : le poste écoule-t-il dans le temps déterminé avec son poste correspondant, soit sur une distance variant de 250 à 600 kilomètres, le trafic pour lequel il a été construit ? On peut hardiment répondre : oui.

Il reste un dernier mot à dire de l'organisation des postes congolais.

Ils se partagent en quatre sections, avec Stanleyville comme centre d'exploitation. Le personnel composé de chefs de section et de leurs subordonnés dépend d'un directeur qui assure la liaison avec la direction en Belgique et est en rapports directs avec le gouvernement général de la colonie.

Le personnel de chaque poste est constitué par un télégraphiste chef de poste, un télégraphiste blanc ou un aide-télégraphiste indigène, deux ou trois mécaniciens noirs et quelques travailleurs indigènes.

Pour la formation du personnel a été instituée l'école pratique de T. S. F. à Laeken. École pratique, où la formation théorique ne fait pas défaut. Éléments de mathématiques, mécanique générale, électricité industrielle, moteurs thermiques, principes de T. S. F., description d'appareils, règlements administratifs, hygiène coloniale, rien n'est omis, ni jugé de petite importance.

Ajoutez-y les travaux pratiques. Ingénieurs et élèves deviennent tourneurs, ajusteurs, monteurs, menuisiers, chimistes, physiciens. Dans la colonie toute connaissance peut venir à point. L'école construit elle-même ses appareils, pylônes, salles de transmission et de réception, alternateurs, condensateurs, éclateurs à choc, et après une mise au point patiente et définitive en confie la construction en gros à des firmes belges. C'est dire que si le réseau radiotélégraphique congolais vaut quelque chose, c'est à l'école pratique de Laeken qu'il le doit.

L'organisation du service de la T. S. F. au Congo est, nous l'avons dit, l'œuvre du Roi. Il en fut le promoteur et, qui plus est, érigea de ses propres deniers les 15 postes existants. Une fois terminés, il les céda à la colonie. Comme le dit fort justement M. Goldschmidt, c'est un vrai cadeau royal.

L'esprit large et clairvoyant qui conçut une telle œuvre, confia à l'industrie privée le soin de l'exécuter et de la mener à bien. A voir les difficultés rencontrées et les résultats obtenus, on doit avouer qu'il a vu juste. Où en serait en effet le réseau radiotélégraphique congolais, si l'État s'en était vu confier la création et la gestion ? A constater ce qui se passe en Belgique, il n'est pas difficile de conclure.

N'allons pas cependant pour cela aux conséquences extrêmes ; refuser tout contrôle à l'État, ce serait ridicule. Celui-ci en effet doit intervenir, en aidant, facilitant, subventionnant les initiatives, mais son intervention ne doit pas s'étendre au delà.

Mais le *trafic* permettra-t-il de maintenir les postes et, qui plus est, de les doter des appareils les plus modernes ?

Le trafic est assuré. Les postes primitifs ont été construits en vue d'un trafic de 25 000 mots par mois. Ce chiffre a été dépassé dans des proportions vraiment inespérées. A Kongolo par exemple, il a presque décuplé en cinq ans. Je le veux bien, la guerre y fut pour quelque chose, mais après une baisse momentanée, on peut prévoir un progrès sans cesse grandissant.

Un fait donc reste certain : les postes sont utilisés ; si bien même qu'ils en sont arrivés à l'extrême limite de capacité compatible avec un service rapide et régulier.

Mais la seconde partie de la question, les bénéfices et le maintien des postes à la hauteur des découvertes modernes ? Ceci n'est pas de ma compétence. La taxe de 25 centimes par mot est minime, il est vrai, étant donnés les frais d'entretien et surtout la nécessité d'augmenter les appointements du personnel. La vraie réponse est la suivante : dans le cas de déficit, c'est à l'État à intervenir.

Nous avons donc au Congo un réseau radiotélégraphique comme aucune autre colonie n'en possède. Or ce n'est là que l'ébauche d'un plan grandiose, mais logique et nécessaire, comprenant une grande station internationale, d'ailleurs en voie de réalisation, cinq grands postes primaires pour l'écoute internationale, plusieurs postes secondaires pour la communication entre districts et enfin des postes tertiaires de téléphonie sans fil, assurant la liaison entre localités de quelque importance.

Et tout cela pour communiquer avec qui ? me demanderez-vous. Mais avec la Belgique surtout. Et comment, puisqu'en Belgique nous ne possédons aucun poste suffisamment puissant pour transmettre les dépêches? Sans doute, pour poser un câble télégraphique, il faudrait 150 000 000 de francs et il y aurait les difficultés de la pose, de l'entretien, les dangers de rupture, les points de liaison sur des îles ou des côtes qui ne nous appartiennent pas, la dépendance de sociétés qui peuvent toujours augmenter leurs prix, que sais-je encore ! Mais en sera-t-il autrement avec la liaison par T. S. F. ? Ne sommes-nous pas tributaires de la France et de l'Angleterre ? Quand notre poste intercontinental de Boma-Kanga sera construit, ne devrons-nous pas et transmettre et recevoir en duplex, c'est-à-dire nous servir de stations puissantes comme Paris, Lyon, Bordeaux, pour rester en communication avec la colonie ? A quoi bon cette dépense inutile ?

Il est vrai que nos postes coloniaux seraient d'une utilité précaire s'ils n'avaient leurs correspondants en Belgique même.

Hélas ! il est passé le temps où nous possédions un des grands postes mondiaux.

En passant près du Parc royal de Laeken on se montrait avec orgueil les huits pylônes qui lançaient au loin leurs ondes claires, si claires même qu'on les entendait en Amérique à 6.500 kilomètres de distance. Une performance pour ce temps-là ; c'était avant la guerre. Mais consolons-nous ; nous possédons à Bruxelles un poste de 1600 mètres de longueur d'onde, moins qu'au Congo ! On s'en contente ! L'entendrait-on là-bas par hasard ? J'en doute. Non, il nous faut, à tout prix, notre poste de Laeken, et un grand poste, un poste tout à fait moderne. Voilà deux ans que la guerre est terminée et on n'a pas seulement fait disparaître les ruines de l'ancien poste. Je comprends l'amertume d'un homme comme M. Goldschmidt quand il parle de la situation présente. Les gravures de son livre montrent les installations magnifiques de Laeken avant la guerre et leurs

ruines désolantes après la démolition et après le brutal acharnement de l'ennemi à compléter la destruction. Quand donc l'administration lui fournira-t-elle l'occasion de faire mieux encore que par le passé et de montrer au monde entier que, dans tous les domaines, la Belgique a été la première à se relever des immenses ruines accumulées par la guerre ?

Le moment n'est peut-être pas éloigné, où il serait trop tard.

Mais revenons-en à la colonie.

Je disais un mot tout à l'heure de Boma-Kanga.

Ce poste correspondant à celui de Laeken d'avant-guerre avait été installé à Banane. L'emplacement était mal choisi, la guerre nous a appris pourquoi. Que de fois, en effet, lors de leurs incursions dans les îles et les ports alliés, les croiseurs allemands eurent tôt fait de démolir en quelques coups de canon les superbes installations de T. S. F., enlevant tout à la fois et la possibilité de demander du secours et l'espoir de diriger la poursuite !

On décida donc de s'avancer plus avant dans les terres et de construire un nouveau poste à 20 kilomètres à l'ouest de Boma.

Les travaux d'aménagement commencèrent en 1917, mais hélas ! l'augmentation du prix des machines et de la main-d'œuvre empêcha bien vite d'aller plus loin. Pourtant à quelque chose malheur est bon. Si on avait continué alors les travaux, peut-être aurait-on dû remplacer actuellement, en raison des progrès depuis opérés, bon nombre de machines et d'appareils.

Aujourd'hui la réalisation de l'ouvrage est adoptée, et ce sur un pied tout à fait moderne.

L'érection du poste de Boma-Kanga ne résout pas complètement le problème des communications télégraphiques dans la colonie. Tout le monde doit l'avouer, un réseau qui fournit un trafic presque quatre fois supérieur à celui pour lequel il a été construit est un réseau saturé. Il faut donc de toute nécessité le développer, et cela dans le sens indiqué plus haut : postes primaires, secondaires et tertiaires.

Et l'argent ? La dépense ne serait pas si énorme, puisque les quinze postes existant actuellement au Congo n'ont coûté que cinq millions. On pourrait d'ailleurs faire une grosse économie en utilisant la force motrice d'une turbine actionnée par l'eau de la rivière ou d'un moteur à huile de palme.

Ce serait une erreur de croire que ce vaste réseau de T. S. F. colonial n'aura comme résultat que de faciliter les communications entre la Belgique et le Congo. Il faut envisager son utilité sous bien d'autres aspects. Nous en citons quelques-uns.

On sait qu'actuellement la T. S. F. est employée comme moyen de signalisation entre navires par temps de brouillard, et entre le continent et les navires pour l'entrée dans les ports. Or à l'embouchure du Congo règne souvent une forte brume qui fait dépasser aux navires venant d'Europe l'endroit précis où ils devraient virer de bord. Le poste de Boma-Kanga serait là comme un phare, aux rayons perçant les plus fortes brumes et avertissant les navires de la course à suivre.

La même application serait à faire pour les steamers fluviaux. M. Goldschmidt montre les sommes considérables qu'on gagnerait par suite du temps épargné. Le navire préviendrait, plusieurs jours à l'avance, de son passage à telle escale, d'où rapidité plus grande dans le déchargement et le chargement. On a vu des navires attendre plusieurs jours avant de pouvoir prendre leur chargement et occasionner ainsi la perte de grosses sommes. Les chemins de fer bénéficieront également d'une telle installation. Il est vrai que le fil longe la voie ferrée, mais nous avons vu au début combien son entretien est difficile et surtout combien les accidents sont fréquents et longs à réparer.

La T. S. F. sera, sans contredit, la plus nécessaire à l'aviation.

Tout le monde se rappelle le premier voyage du R. 34 se rendant en Amérique. Comment se fût-il terminé sans l'existence d'un poste de T. S. F. à bord du dirigeable ? Je crois que ce n'eût pas été à l'honneur des Anglais, ni surtout à la gloire des hardis officiers qui l'entreprirent. Or il serait puéril de se dissimuler les difficultés de l'aviation au Congo. Les pannes peuvent arriver et arriveront nécessairement, soit en plein fleuve, soit en pleine forêt. Que deviendra l'aviateur s'il ne peut appeler au secours ? Abstraction faite des accidents possibles, tout comme le capitaine du navire à l'embouchure du Congo, le pilote aérien pourra se diriger infailliblement dans les bourrasques et la brume, s'il a de quoi entendre le poste qui de loin lui marque la route à suivre.

En parcourant une liste des différents postes radiotélégraphiques et l'indication de leurs services, on est frappé de la quantité de bulletins météorologiques qu'ils envoient. Vu le développement croissant de la navigation aérienne, ces bulletins sont devenus une nécessité. Au Congo cette nécessité se fait sentir plus qu'ailleurs. Il y faudrait donc un service météorologique très intense capable d'avertir les aviateurs des moindres variations de l'état atmosphérique.

Au point de vue de la recherche scientifique des perfection-

nements de la T. S. F. le Congo offre un champ d'expériences. Des chercheurs persévérants sont arrivés, grâce à des tubes à vide spéciaux à quatre électrodes, à augmenter la sécurité de réception lors des perturbations atmosphériques intenses. Le Congo n'est-il pas l'endroit indiqué pour faire l'application de leurs recherches ?

Concluons avec les auteurs du livre que nous venons d'analyser. La T. S. F. au Congo est une œuvre éminemment belge. Cette œuvre a rendu et rendra d'inappréciables services à la colonie et à la mère-patrie. A celle-ci d'abord, car il s'est créé une industrie belge de T. S. F. ; à celle-là ensuite, car le colon se sentira moins isolé, donc plus soutenu et plus encouragé ; les jeunes Belges se décideront moins difficilement au départ pour l'Afrique ; ils travailleront plus nombreux à la civilisation du continent noir et à la mise à profit de nos richesses coloniales.

R. Thiéry.

IV

LA CULTURE INTENSIVE AUX ÉTATS-UNIS

—

Un des traits caractéristiques de notre activité économique, si nous l'envisageons dans son ensemble, est l'intensité de l'effort. Dans l'industrie ne se manifeste-t-elle pas soit par l'utilisation des déchets — chiffons, cossettes, poussier, sciure de bois, etc. — soit par le triomphe du travail mécanique et la vogue des machines-outils ? L'importance du capital à rémunérer, le prix de la main-d'œuvre réclament un rendement maximum. De leur côté, banquiers et prêteurs drainent les moindres épargnes et réduisent par le clearing ou la compensation les immobilités improductives. L'exploitation d'une voie ferrée, qu'il s'agisse d'une clientèle urbaine ou de transport de marchandises, ne vise-t-elle pas l'organisation de services où le maximum de charge et de capacité sera atteint dans les deux sens et le plus souvent possible ? Si, dans de nombreuses régions, l'agriculture fait encore exception à cette règle, là où la loi de restitution est connue et appliquée, là où les prix des terres sont en hausse

rapide et régulière, les méthodes intensives remplacent les procédés extensifs. Sous ce rapport, les fermiers américains sont dépassés, et largement, par les agriculteurs de l'Europe occidentale. En Angleterre, en Allemagne, en Belgique, le rendement moyen d'un hectare en céréales est plus que le double du leur ; leur culture extensive les place à peu près au même niveau que la Russie et le Pendjab. Ainsi, de 1875 à 1918, la moyenne de maïs par acre reste stationnaire, 26 boisseaux ; celle du blé passe de 11 à 15, celle de l'avoine de 29 à 32, celle de l'orge de 23 à 24 boisseaux ; celle des pommes de terre et des graines de lin est stationnaire. La production du coton en livres par acre est la même en 1918 qu'en 1874, 1876, 1877 : 155 livres. Cette négligence se manifeste aussi dans l'emballage du coton particulièrement défectueux, exposant la balle à un haut pourcentage de déchets. Il y a quelques années, au congrès d'Atlanta, les délégués anglais du Lancashire évaluaient ces pertes à 25 millions de dollars, cela à un moment où le coton ne valait que 60 à 70 centimes la livre.

Le fameux « railroadman » J. Hill déclarait à l'exposition d'Omaha, en 1909, que les Etats-Unis pour nourrir leur population croissante devaient changer et perfectionner leurs méthodes. A la réunion annuelle des banquiers américains qui se tint en septembre 1909 à Chicago, il précisa ses pronostics : dans un avenir très rapproché, mettons dix ans, dit-il, nous consommerons toute notre récolte de blé. Dans les ANNALS OF THE AMERICAN ACADEMY OF POLITICAL AND SOCIAL SCIENCE (volume 35) M. H. Poe, par le titre seul de son article *Agricultural revolution a necessity,* montre que l'augmentation du pourcentage par acre est pour ses concitoyens une solution inévitable.

Si le tonnage de la récolte et le rendement par acre se maintiennent ou augmentent, c'est en bonne partie grâce à la mise en valeur des terres neuves de l'ouest. Le « far-west » attire le fermier. Il y a quarante ans, disait J. Hill à la réunion citée plus haut, les bonnes fermes de la vallée du Mohawk et de l'Hudson coûtaient 100 à 150 dollars l'acre ; actuellement, elles se vendent 25 ou 30 dollars. Dans l'ouest, trop souvent le fermier se livre à ce que les agriculteurs de la prairie canadienne appellent le « Wheat mining » : il considère sa terre comme une mine ou une carrière et, une fois la terre fatiguée, il se déplace ; c'est ce qui explique l'arrivée dans le far-west canadien d'un si grand nombre de fermiers américains. M. Will. Wilson, ministre du Travail à Washington, dans un mémoire sur le rendement de

l'ouvrier pendant la guerre, déclare que le déplacement de la main-d'œuvre industrielle atteint des proportions étonnantes : l'entreprise, dit-il, perd ses ouvriers comme un vase poreux, par suintement. Son expression « seepage of the plant » peut, malheureusement aussi, toutes proportions gardées, s'appliquer au monde agricole.

Pour introduire la transformation des méthodes et accélérer le passage de la culture extensive à la culture intensive, plusieurs conditions sont nécessaires : les trois principales, me semble-t-il, sont assurées aux États-Unis. Nous en dirons rapidement un mot, en examinant aussi les résultats acquis.

L'enseignement dépend des États ; de par la constitution, le Fédéral doit respecter leur autonomie, mais il a fortement encouragé cet enseignement, en accordant le nerf de la guerre. En 1862, par le « Landgrant act », chaque État reçut autant de fois 12.000 hectares qu'il avait de sénateurs et de représentants au Congrès, à condition d'employer le revenu de ces terres à l'entretien d'un collège où seraient enseignés l'agriculture et les arts mécaniques. En 1887, et en 1906, des subventions annuelles à charge du trésor fédéral ont été promises à chaque État pour l'établissement d'une station agronomique qui serait une annexe d'un collège agricole. On en compte actuellement 66, y compris celles de Porto-Rico, des Philippines et de l'Alaska. Leurs travaux sont absolument semblables à ceux des bureaux du ministère de l'agriculture, mais naturellement se restreignent davantage aux recherches intéressant la région. En vue de coordonner tous ces travaux, les stations entretiennent des communications régulières avec Washington. En 1918, les 48 États possédaient 67 collèges d'agriculture et d'arts mécaniques et, dans 23 États, ces collèges étaient affiliés à l'Université. Une quinzaine de ces établissements dédoublent leurs cours pour les rendre accessibles aux noirs, ou plutôt, comme on dit en Amérique, à la population colorée. Tous comprennent un programme de quatre ans pour la section d'agriculture et d'après l'annuaire de ce Ministère, cette section aurait compté en 1918, 9600 étudiants blancs et 2800 nègres. De ces collèges sortent probablement plus de professeurs et de fonctionnaires attachés au ministère de l'agriculture que de « gentlemen farmer » ; bien grande cependant peut être l'influence du fermier instruit qui offre à ses voisins conseils, modèles et directions.

Pour populariser les bonnes méthodes, hâter le recrutement de la main-d'œuvre, prévenir les incendies de forêts, stimuler

la production, le département de l'Agriculture a récemment organisé, et le Congrès lui a accordé dans ce but les crédits demandés, des séances... de cinéma ! Les films sont préparés aux laboratoires de Washington. Les inévitables statistiques nous annoncent que ces tableaux champêtres ont défilé devant 500 000 personnes dans des séances organisées par des fonctionnaires, mais que, par accord avec une compagnie de cinéma, quatre millions de spectateurs ont contemplé les scènes du farmer « sub tegmine fagi » ! Cet optimisme simpliste me rappelle l'argumentation d'un Américain qui pour enrôler des travailleurs déclarait à ses lecteurs qu'il était ridicule de préférer la lueur d'une lampe électrique aux teintes d'un coucher de soleil, des vitrines de magasins aux pâquerettes des champs et des rues encombrées aux larges horizons de la steppe (1).

Pour améliorer le rendement de leurs terres, les Américains peuvent compter aussi sur l'ingéniosité de leurs constructeurs de machines agricoles et sur un des éléments matériels indispensables à cette rénovation : les engrais chimiques. Chez eux pas d'engrais à base de potasse : jusqu'à présent on n'en a trouvé que dans la région du Harz et en Alsace. Si le Chili monopolise les nitrates, engrais à base d'azote, les « beefpackers » de Chicago, d'Omaha, de Kansas-City livrent néanmoins de grandes quantités d'engrais azotés naturels ; mais la Floride, la Caroline, l'Alabama, le Tennessee, l'Arkansas, l'Utah, possèdent les plus beaux gisements de phosphate et les seuls qui, avec les riches dépôts de Tunisie, aient actuellement de l'importance. Le tableau du commerce extérieur nous montre des exportations de phosphate même en Australie et au Japon. Il faut y ajouter le laitier des hauts-fourneaux et l'ammoniaque des fours à coke. Comme les diverses industries chimiques ont aux États-Unis, pendant la guerre, pris un merveilleux essor, et que les 5/8 des fermes et 68 % de leur superficie (statistiques de 1910) sont aux mains de propriétaires, l'emploi de ces nombreux fertilisants en sera singulièrement facilité. Mais comme la culture intensive augmente le prix de revient, il faut que le fermier, grâce au crédit agricole bien organisé, se procure assez facilement les capitaux nécessaires. Des mesures législatives récentes viennent d'amé-

(1) Une autre manifestation de cette même mentalité sont les statistiques qui en 1915 étaient affichées en grands caractères à plusieurs des gares de la ligne Los Angeles — San Diego : chiffres de la population locale, de la production agricole, des dépôts en banque depuis 1910 jusqu'en... 1920.

liorer une situation où le poids des dettes et des charges financières gênait l'agriculture.

L'industrie aux États-Unis est actuellement caractérisée par la main-mise de la finance sur un grand nombre d'établissements; c'est bien souvent la banque qui contrôle une industrie, et, en dehors des trusts, la concentration ou l'intégration ont rapproché les industriels. Enrôlé dans ses unions et syndicats, l'ouvrier isolé n'existe plus. Le farmer n'est pas emporté par ce mouvement d'association : il est cependant capitaliste et ouvrier, mais petit capitaliste, non « business man » : comparé à l'ouvrier, il est « self dependent ». En outre, bien souvent, il n'est pas spécialisé : le voilà donc obligé de vendre des articles disparates, blé, tabac, bétail, foin, coton à divers agents représentants du capital organisé. Devant les manœuvres des spéculateurs de Chicago, il est isolé, isolé aussi en face des compagnies de chemin de fer. Quand une région assez étendue se spécialise dans la production d'oranges, ou de coton, ou de tabac, par exemple, les fermiers ont le sentiment de l'union, leurs intérêts sont communs, communs aussi les marchés, les acheteurs, les besoins ; les questions de transport, de vente, de classification sont les mêmes pour tous : dans ces conditions, surgit la coopération. Or, pour obtenir le crédit dont il a besoin, l'agriculteur s'est trouvé longtemps seul et abandonné.

Comme partout, de simples particuliers, après conditions débattues, avançaient au fermier quelques sommes et surveillaient eux-mêmes leur emprunteur. Que d'abus possibles ! Nulle statistique naturellement ne peut préciser le capital de la dette ainsi contractée.

Le « local storekeeper » ou exploitant d'un magasin-bazar avance au fermier, non de l'argent, mais des outils, des engrais, des conserves, des machines agricoles, et cela sans exiger de gage, si son client est connu. Ce système n'est que trop répandu dans les États cotonniers du Sud ; la récolte y est promise avant maturité, avant l'ensemencement même et le marchand vend ses articles 25 % plus cher que s'il était payé comptant. Il arrive aussi que pour diminuer ses risques, ce soit lui qui décide ce que l'on sèmera.

Le fermier peut s'adresser aux banques, aux caisses d'épargne, aux compagnies d'assurance. En 1913, d'après les évaluations d'un statisticien américain, les grandes compagnies d'assurance auraient eu en portefeuille 570 millions de dollars, soit le cinquième de la dette hypothécaire rurale. Les banques naturelle-

ment n'aiment à opérer que dans les régions de tout repos, où la terre a de fortes chances de plus-value ; les banques privées ne consentent pas de prêts à long terme. Dans le Nord et le Nord-Ouest, beaucoup de banques prêtent sur gages mobiliers ou fonds publics, et le fermier installé sur une bonne terre trouvera des capitaux, mais le fermier pauvre, ou le tenancier qui ne peut offrir que sa récolte ou son bétail, a recours au commerçant.

En 1880 apparurent les premières banques hypothécaires ; mais de 1890 à 1893 beaucoup s'effondrèrent. Il est resté après ce krach une certaine défiance et les banques hypothécaires, en fait peu nombreuses, ne rendent que des services assez réduits.

La « Jewish Farmer's Cooperative Credit Union » réserve aux Israélites la générosité de ses prêts.

Dans un message adressé aux gouverneurs des États, le président Taft évaluait à 6 milliards de dollars la dette pesant sur l'agriculture. Mr Holmes, dans Business America (février 1913) admet une dette hypothécaire de 2793 millions de dollars, et M. Pope, dans le Quarterly Journal of Economics (août 1914) ne s'éloigne guère de cette somme. La dette hypothécaire représenterait donc un peu moins de 50 % de la dette globale.

Ce n'est que bien lentement, mais depuis 1910 avec plus de vigueur, que se dessina le mouvement en vue d'organiser le crédit agricole. Roosevelt en saisit l'opinion publique par la création d'une « Country life commission ». En avril 1912, au Southern Commercial Congress de Nashville, des conférenciers traitent la question ; l'American Bankers Association la fait étudier à l'étranger et le 62e Congrès autorise le Président à faire une enquête en Europe sur les coopératives de crédit. Le bel ouvrage intitulé *Rural credits* de M. Herrick, ambassadeur des États-Unis à Paris, en est, je crois, le résultat. Le président Taft invite les gouverneurs des États à rechercher les moyens d'organiser un système qui soit avant tout profitable au fermier, et lors des élections de 1912, les trois partis en présence avaient inscrit à leur programme la question du crédit agricole.

Le gouvernement devait trouver trois choses : des capitaux, des capitaux à bon marché et à long terme. Des capitaux ? Malgré ses disponibilités et ses grandes ressources, la finance écartait l'agriculteur, ou du moins ne s'intéressait pas à lui. Les banques préféraient les prêts à l'industrie et au commerce, où les évaluations sont plus faciles et plus rapides, les échéances plus rapprochées, tandis que des avances aux fermiers, vu la

distance, l'éloignement des grands centres, la plus grande diversité des situations, rendaient les directeurs sceptiques ou indifférents.

En 1914, la moyenne du taux payé par les fermiers était 8 %, les deux extrêmes étant 5,5 % et 12 %. Certains États avaient bien fixé un maximum infranchissable, mais le rusé prêteur parvenait à extorquer à ses clients des intérêts spéciaux et supplémentaires dissimulés sous la dénomination de droits de commission, de renouvellement, etc.

Les compagnies d'assurance qui consentaient des prêts hypothécaires ne dépassaient pas le terme de 5 ans ; quelques-unes, mais bien rarement, osaient attendre 7 ou 10 ans. Or, ce que le fermier désirait, paraît-il, c'est la durée d'une génération, 25 à 30 ans. Il souhaitait aussi un terme d'escompte dépassant 90 jours, mais, vu la concurrence du papier commercial ordinaire, où trouver un banquier qui acceptât ces conditions ?

En 1913, le « Federal reserve act » qui réorganisait le système de circulation fiduciaire des États-Unis, permit aux banques nationales non établies dans une « central reserve city » de consentir des prêts hypothécaires sur fermes déjà en exploitation, situées dans leur district, mais pour un terme maximum de 5 ans, et une somme ne dépassant pas 50 % de la valeur de la terre. Le total de ces prêts ne peut dépasser 25 % du capital et des réserves de la banque. Celle-ci pourra escompter du papier commercial-agricole à échéance non seulement de 90 jours mais de 6 mois.

Ces concessions sous forme de mesures indirectes allaient être suivies trois ans plus tard d'une loi organique du crédit rural hypothécaire, légèrement amendée en 1918. L'exposé et l'analyse des 35 « sections » ou titres du « Federal farm loan act » ne trouvent pas ici leur place ; un résumé et une appréciation des dispositions fondamentales suffisent au but de cet article.

Éclairé par l'enquête faite en Europe, le législateur a tâché de réunir les avantages de la coopération, de l'initiative individuelle et d'une intervention modérée de l'État ; il est parvenu en même temps à assurer à la loi assez de souplesse, qualité indispensable lorsqu'il s'agit d'aider des agriculteurs de situations aussi diverses que les fermiers américains. Le but de l' « act », et le résultat qu'il atteindra, est bien l'amélioration de la situation financière, un accroissement de l'aisance du cultivateur, et non l'enrichissement du prêteur et d'autres intermédiaires.

Deux espèces de banques sont créées : des « federal land banks » dont le capital est en partie souscrit par l'État et des « joint stock land banks » ou banques de crédit rural constituées en sociétés anonymes ordinaires. Comme le « federal reserve act » de 1913, la loi découpe le territoire des États-Unis en 12 districts réservés chacun à une banque fédérale. Le fermier, pour s'adresser à cette banque, doit faire partie d'une association locale d'agriculteurs (national farm loan association) comprenant au moins 10 membres, et organisée en vue de faciliter et de contrôler les emprunts des siens. Une fois établie, l'association nomme un comité de trois membres chargé d'estimer la valeur des terres offertes en gage et d'envoyer son rapport à la banque du district, qui fera reprendre par ses agents ce travail d'évaluation.

Pour entrer dans une de ces sociétés il faut en devenir actionnaire, c'est-à-dire que le fermier doit souscrire des parts de capital — ces parts sont de 5 dollars — pour une somme égale à 5 % du montant de son emprunt ; ainsi, par la succession des emprunts, le capital de l'association se constitue et se maintient. Les titres souscrits sont détenus comme gage par l'association, mais les dividendes en sont payés au propriétaire qui, une fois son emprunt remboursé, cesse d'être membre et voit ses titres annulés. Chaque fermier est partiellement responsable des dettes de son association, dettes qui peuvent provenir de l'insolvabilité d'un des leurs ; sa part de responsabilité ne dépasse pas les 10 % de son emprunt ; ces sociétés ont ainsi intérêt à n'admettre que des cultivateurs honnêtes et capables. A elles de décider si l'emprunt de tel de leurs membres leur paraît suffisamment sûr ou garanti et de s'y opposer en refusant de s'adresser à la banque du district. Les 5 % exigés par la loi sont placés par l'association dans cette banque. Pour organiser d'emblée le fonctionnement de ces banques, le gouvernement a souscrit au début la plus grande partie de leur capital qui doit atteindre 750 000 dollars pour chacune d'elles, mais il se retire au fur et à mesure que ses avances sont remboursées par les fonds des associations ; en outre, les actions qu'il détient n'ont droit à aucun dividende.

Quels prêts consentent ces banques ? Si nous en considérons le montant, elles n'avancent pas plus de 10 000 dollars à la fois à un fermier, mais ne peuvent demander plus de 6 % d'intérêt ; en fait, la plupart, dès 1916, n'ont exigé que 5 %, taux qui à cause de la guerre s'est élevé depuis 1918 à 5 1/2 %. Ces condi-

tions sont tout aussi favorables que celles offertes aux industries et aux municipalités en temps normal. Tous les prêts sont amortissables ; si 40 ans est le délai maximum, l'emprunteur jouit néanmoins après les 5 premières années de la faculté de rembourser quand il lui plaît tout ou partie du solde de sa dette. La banque ne consent que des prêts sur première hypothèque et ne dépassant pas 50 % de la valeur de la terre, plus 20 % de la valeur des bâtiments assurés. Il faut aussi que l'emprunt soit contracté pour l'un ou l'autre des quatre buts prévus par la loi : achat de terrain, achat de machines agricoles, d'animaux, de fertilisants, construction ou travaux assimilés à la construction, comme le drainage, remboursement de dettes préexistantes.

Un « Federal Board » de contrôle et de surveillance examine les opérations des banques, abaisse le taux d'intérêt si celui d'un district lui semble trop élevé, exige des rapports réguliers sur la marche des affaires. Ce bureau comprend 4 membres et un président nommés pour 8 ans par le Président des États-Unis, au traitement de 10 000 dollars ; ils ne peuvent être directeur ou administrateur ou conseiller (officer or director) d'aucune société bancaire, ni appartenir tous au même parti politique.

Les « joint stock land banks » jouissent de plus de liberté ; la loi cependant exige que leur capital ne soit pas inférieur à 250 000 dollars et c'est du Federal Board qu'elles doivent recevoir la charte les autorisant à commencer leurs opérations. Elles ne peuvent exiger un intérêt dépassant de plus de 1 % celui qu'elles servent à la dernière série de leurs obligations. Pour étendre leur activité, les deux catégories de banques sont en effet autorisées à émettre, par tranches de 50 000 dollars maximum, des cédules ou bons qui ne peuvent dépasser 20 fois le capital et les réserves des banques fédérales et 15 fois celui des autres. C'est grâce à cette émission de titres accessibles à toutes les bourses — les coupures étant de 25, 50, 100, 500 et 1000 dollars — que les banques offrent aux fermiers des prêts à un taux d'intérêt si modéré, et comme la garantie de ces bons repose, non sur la solvabilité d'un agriculteur isolé, mais sur la valeur des terres et des fermes de toute une contrée, les risques sont minimes. A l'hypothèque il faut ajouter la garantie partielle de la « farm association » et chaque série de cédules, émise par une banque fédérale, est garantie par les onze autres. L'État, qui ne perçoit aucun dividende comme souscripteur du premier

capital des banques fédérales, a été autorisé à acheter leurs obligations ; le Trésor en possédait pour 90 millions de dollars en avril 1919. Les banques d'émission même peuvent en acquérir dans les limites prévues par la loi, et grâce à ces cédules, l'offre et la demande des capitaux s'équilibrent assez facilement, tandis qu'autrefois des capitaux prêts à se lancer dans des entreprises agricoles ignoraient les besoins locaux, ou se trouvaient trop éloignés du théâtre des opérations pour s'y intéresser ou s'y fier.

Mais puisque les fermiers ont la faculté de rembourser leur dette après 5 ans, les cédules émises peuvent après le même laps de temps être remboursés en dehors des dates ordinaires. Actions et obligations des banques fédérales sont exemptes de tout impôt, même des taxes des États et des municipalités. Joint et federal banks doivent verser à la réserve 25 % de leurs revenus nets jusqu'à ce que cette réserve atteigne 20 % du capital ; une fois ce minimum atteint, 5 % chaque année suffisent. En février 1919, les prêts hypothécaires consentis par les banques fédérales se montaient à 168 millions de dollars ; dès le début, vu leur taux de 5 et de 5,5 %, 70 % des demandes qui leur ont été adressées visaient le remboursement de dettes anciennes trop pesantes. L'on compte déjà plus de 3365 associations. Les 9 joint banks existant en 1919 avaient avancé 7 290 000 dollars.

Les Américains ont donc établi l'enseignement agricole ; ils trouvent chez eux et reçoivent aussi du Chili plus facilement que nous les fertilisants nécessaires ; un système de crédit rural vient d'être organisé ; qu'en conclure ? Simplement, que la culture intensive est chez eux possible. Pour qu'elle devienne une réalité et se généralise au point de caractériser la production de l'immense steppe centrale, c'est-à-dire pour que le farmer triomphe de la loi du moindre effort, l'indispensable aiguillon de la nécessité devra se faire de plus en plus sentir.

Les États-Unis sont arrivés, qu'on nous permette cette catachrèse, à un tournant, un virage de leur histoire économique. Avant la guerre, ils devaient à l'Europe 20 milliards de francs empruntés pour l'établissement de leurs industries et de leurs chemins de fer ; depuis 1914, ils ont racheté au moins les 3/4 de cette dette et les Alliés leur doivent actuellement environ 50 milliards de francs. A cette créance, ajoutez l'accroissement formidable de leurs exportations. Durant la décennium qui précéda la guerre, un excédent d'exportations de 450 millions de

dollars en moyenne payait dividendes et intérêts aux détenteurs européens de fonds américains, le fret dû aux pavillons étrangers, soldait les dépenses des touristes et voyageurs, compensait les envois d'argent faits par les émigrants à leurs familles. Mais en 1919, la valeur des exportations atteint le double de celle des importations, 8 milliards de dollars contre 4 (chiffres arrondis).

Avant la guerre, on estimait à 500 000 environ le nombre de citoyens américains possesseurs de fonds d'État ; la dette fédérale était minime, inférieure à un milliard et ses titres se trouvaient en très grande partie détenus par les banques, à cause du bizarre système de circulation fiduciaire. Le premier emprunt de la Liberté réunit difficilement 4 millions de souscripteurs, mais lors des derniers appels au crédit ce chiffre se serait élevé à 20 millions.

Quelle que soit l'exactitude de ces statistiques toujours un peu flottantes, elles révèlent un changement dans la mentalité de la population ; les États-Unis qui d'après le Washington Post (20 mai 1919) étaient une « nation de gens gagnant et dépensant de l'argent », apprécieront davantage l'épargne.

Comme ces statistiques, un récent projet de loi montre l'orientation nouvelle des esprits : les banques nationales seraient autorisées à placer en titres de sociétés américaines s'occupant d'opérations financières à l'étranger jusqu'à 5 % de leur capital et de leurs réserves, et les Caisses d'épargne à placer une partie de leur capital en titres d'États étrangers.

Au budget fédéral, révolution plus radicale ; depuis toujours n'y figuraient comme recettes que les douanes et les droits frappant boissons alcooliques et tabac. En 1913, après de longues discussions et le vote d'un amendement à la constitution, fut établi un léger impôt sur le revenu. Actuellement, dans un budget de 5 milliards, ou le quintuple de celui de 1915, les impôts frappant la richesse, autrefois inconnus, impôts sur le revenu, sur les sociétés, sur les successions, sur les bénéfices exceptionnels représentent plus des 3/5 du total. Et ces changements dans la situation réciproque de pays créanciers et débiteurs, dans les sympathies du peuple pour les fonds d'État, dans la politique financière du gouvernement, prennent d'autant plus d'importance qu'on peut y ajouter, les dates le permettent, l'adoption du nouveau système de circulation fiduciaire inauguré en 1914.

Pour l'industrie, cette date est aussi le commencement d'une

période nouvelle. C'est à cause du blocus de l'Allemagne que les Américains se sont décidés à produire de nombreux articles qu'ils se contentaient autrefois d'importer de Germanie : matières colorantes, produits pharmaceutiques et chimiques, sous-produits extraits de la houille, que leurs fours à coke négligeaient trop souvent de récupérer, verrerie de laboratoire. C'est la guerre sous-marine qui les a lancés, et avec quelle impétuosité, dans l'industrie des constructions navales, languissante chez eux avant 1915 ; en 1918, n'ont-ils pas construit plus de 3 millions de tonnes, ou 25 % de plus que le reste du monde, record que l'Angleterre n'avait jamais atteint ? C'est à cause des commandes des Alliés, à cause de l'isolement des anciens clients des Alliés, que toutes les industries américaines ont pris un essor tel que le marché intérieur ne peut leur suffire et ainsi, au point de vue commercial, ils ont pris pied et vigoureusement sur les marchés d'Amérique du Sud, de Chine, des Indes, d'Afrique et même d'Europe.

Cette expansion coïncidant avec le développement de leur marine marchande, et l'inauguration du canal de Panama, inaugure vraiment pour eux une phase nouvelle d'activité économique et si les fermiers à l'Est, au Centre et au Sud adoptent de plus en plus nombreux les méthodes de culture intensive, industrie, finance, commerce, transports maritimes, agriculture rénovés et transformés feront des États-Unis une société économique dont la constitution, l'allure, le rang et les aspirations trancheront sur l'époque de Mac Kinley comme celle-ci sur l'époque déjà lointaine d'Abraham Lincoln.

A nous, la guerre a cruellement rappelé l'importance de la maîtrise des vivres. Sans viser un résultat irréalisable, puissent nos mesures législatives et notre activité sociale favoriser le développement de l'agriculture ! Citadins, industriels, banquiers, commerçants ne songent-ils pas trop exclusivement à elle en simples villégiateurs, à cause des richesses de notre pays noir ? Inutile de dresser ici le catalogue des qualités reconnues aux populations rurales. Si nous voulons les apprécier dans un cadre pris hors de nos frontières, la province de Québec nous en montrera la vigueur physique et morale, l'aisance, l'ordre et le bonheur. Comment oublier et méconnaître le degré de force et de vie que de grands pays doivent à leurs paysans ?

J. Charles, S. J.

BIBLIOGRAPHIE

I

Œuvres complètes de Christiaan Huygens publiées par la Société Hollandaise des Sciences. Tome quatorzième. *Calcul des probabilités. Travaux de Mathématiques pures. 1655-1666.* Un volume grand in-4° de (vi) 555 pages. — La Haye. Martinus Nijhoff, 1920.

Le nouveau volume des *Œuvres complètes de Christiaan Huygens* se compose de quatre parties que nous allons parcourir successivement.

1° *Calcul des probabilités.* En 1654, un gentilhomme de Paris, joueur émérite, et qui se piquait de mathématiques, le chevalier de Méré, proposait à Pascal quelques problèmes sur les jeux de hasard. Il s'ensuivit, par l'intermédiaire de Carcavy, une correspondance demeurée célèbre entre Pascal et Fermat.

L'année qui suivit cet échange de lettres entre les deux savants français, Christiaan Huygens, tout jeune encore, vint à Paris avec son frère Louis et son cousin Doublet. Il ne comptait qu'un peu plus de vingt-cinq ans, mais s'était déjà fait un nom par deux petits volumes fort remarqués dans lesquels il réfutait avec succès les fausses quadratures du cercle de Grégoire de Saint-Vincent. En arrivant à Paris, les trois voyageurs n'y rencontrèrent ni Pascal, ni Fermat, ni Carcavy ; mais ils furent mis en relation avec Claude Mylon et avec Roberval. Ce dernier connaissait les problèmes du chevalier de Méré. C'est par la voie de Mylon et de Roberval, que Huygens en apprit les énoncés, au nombre de deux. Le premier de ces énoncés est universellement connu dans l'histoire des mathématiques sous le nom de problème des « partis », c'est-à-dire, du partage des enjeux. Les éditeurs des *Œuvres de Huygens* proposent d'appeler le second « Problème des dés ». Il consiste en ceci : Étant donné un nombre de dés cubiques, quelle est, quand on les jette, la

probabilité d'amener un point déterminé ? Ces deux problèmes donnèrent naissance au calcul des probabilités.

Le premier volume des *Œuvres complètes de Christiaan Huygens* était, on se le rappelle, riche de lettres pleines de renseignements curieux sur l'intérêt que le jeune savant hollandais prit aux problèmes du chevalier de Méré. Il ne semble pas avoir connu, du moins à cette époque, les solutions de Pascal et de Fermat ; mais, de retour au pays natal, il imagina et résolut divers problèmes analogues à ceux qui lui avaient été proposés à Paris. Il en écrivit à Fermat, à Roberval et surtout à son ancien maître François Van Schooten. Le professeur de Leyde avait une qualité qu'à toute époque on aime à rencontrer chez le titulaire d'une chaire d'université. Il poussait ses élèves aux recherches, s'intéressait à leurs travaux, était fier de leurs succès, savait à l'occasion s'effacer pour mettre ses pupilles en évidence. Van Schooten préparait alors ses *Exercitationum mathematicarum Libri* V et songea aussitôt à en faire profiter Huygens. Que Christiaan mette en ordre ses idées sur les probabilités, qu'il en fasse un petit traité, lui, Van Schooten, le publierait avec le nom de l'auteur en annexe à son propre travail. La proposition fut acceptée avec reconnaissance par le jeune savant, voire avec un certain sentiment de fierté, qui perce, sous des formules de modestie, dans ses remerciements à Van Schooten.

Huygens se mit donc à l'œuvre. Sa correspondance nous fournit de nouveau des détails sur les péripéties de la composition. L'auteur eût voulu écrire en latin. C'était l'usage, et en dehors de l'Italie presque tous les géomètres s'y conformaient. Mais quand Christiaan prit la plume en main, le sujet était si neuf qu'il fut arrêté par le vocabulaire. Il se résigna donc à se servir d'abord du hollandais, sauf, la rédaction achevée, à traduire son mémoire en latin. Mais avant d'entreprendre sérieusement cette version, il envoya son manuscrit à Van Schooten, en le priant de lui donner son avis sur le fond du sujet. Van Schooten s'en montra satisfait et offrit à son ancien élève de se charger lui-même de la traduction. L'offre fut acceptée, probablement avec satisfaction, car Huygens, qui mettait si facilement à plusieurs reprises un travail sur le métier, semble avoir toujours eu de la répugnance à en faire lui-même une simple traduction. Nous en avons un exemple caractéristique dans son *Traité de la Lumière*, et c'est lui-même qui nous le raconte dans la « Préface ». Il l'écrivit en français, et le lut, en

1678, devant l'Académie des Sciences de Paris ; mais il lui sembla qu'il ne pouvait convenablement le publier qu'en latin. Douze ans plus tard, cette traduction n'était pas faite, et quand en 1690 il se décida à livrer ce petit volume à l'impression, il le laissa dans la langue où il l'avait écrit.

Revenons à Van Schooten. Le professeur de Leyde se proposait de faire suivre à bref délai ses *Exercitationum Mathematicarum Libri V* par une traduction hollandaise, les *Matematische Oeffeningen*. Les *Exercitationes* virent, en effet, le jour en 1657 et les *Oeffeningen* en 1659-60. Les rédacteurs de la nouvelle édition se sont avec raison décidés à reproduire la leçon hollandaise bien qu'elle n'ait paru qu'en second lieu, car seule elle contient le texte même de Huygens. A cela d'ailleurs aucun risque d'être incompris, et par suite nul inconvénient ; car le texte hollandais n'occupe que les pages impaires, et sur les pages paires en regard on en trouve une traduction française très fidèle.

L'opuscule de Huygens fut pendant un demi-siècle, c'est-à-dire jusqu'aux travaux de Montmort, de Moivre, de Jacques Bernoulli, et de Nicolas Struyck, le seul ouvrage que l'on possédât sur le calcul des probabilités. On le croyait démodé, doué encore tout au plus d'un intérêt archéologique. C'était une erreur. Les éditeurs le font précéder d'une étude mathématique et historique qui le rajeunit complètement. J'y renvoie le lecteur. Pour peu qu'il prenne goût au calcul des probabilités, il le lira d'une traite.

La réédition du texte publié jadis par Van Schooten est suivie de neuf appendices tirés des papiers inédits de Huygens. On peut y remarquer plus spécialement le n° 5 qui jette de la lumière sur la controverse embrouillée que Huygens eut avec Hudde sur le jeu de *Croix et Pile*, nous dirions aujourd'hui de *Pile ou Face* (voir *Œuvres de Huygens*, t. V) ; et le n° 8, où Huygens recherche l'avantage du banquier dans le *Jeu de Basset*, sujet assez différent de ceux qui sont traités dans les autres problèmes.

2 *Travaux mathématiques divers de 1655 à 1659*. Ces travaux sont au nombre de seize. S'ils avaient été écrits au XXe siècle, ils eussent formé des articles de Revues périodiques ou des mémoires de Sociétés savantes. Au surplus, d'étendue fort inégale, ils ont pour objet des matières très diverses, variant depuis les recherches les plus profondes, jusqu'à une simple démonstration du carré de l'hypoténuse destinée, semble-t-il, dans la pensée de l'auteur, à remplacer celle d'Euclide. Voici

l'appréciation d'ensemble que les éditeurs en donnent dans l'*Avertissement*.

« Les années 1655-1659, disent-ils, ont été fertiles pour Huygens en recherches mathématiques de genres très différents. Parmi les travaux qui datent de cette période, on en trouve qui se rapportent à la théorie des nombres et surtout à l'équation dite de Pell ; d'autres contiennent la rectification de la parabole et la quadrature des surfaces courbes des conoïdes parabolique, elliptique et hyperbolique, ou la discussion d'un certain nombre de courbes diverses, de leur quadrature, de la cubature de leurs surfaces de révolution et de divers centres de gravité qui se présentent dans leur étude ; d'autres encore traitent, à l'occasion de problèmes sur la cycloïde proposés par Pascal, des propriétés de cette courbe et d'une application cyclométrique de l'une de ces propriétés. Il y en a de très importants qui exposent et appliquent la théorie des développées et des courbes parallèles, et d'autres plus élémentaires qui donnent la solution d'un problème ou bien la démonstration d'un théorème d'arithmétique, de planimétrie, de stéréométrie ou de géométrie analytique...

» Beaucoup des résultats les plus importants trouvés par Huygens pendant l'époque qui nous occupe ont été publiés par lui dans son *Horologium oscillatorium* de 1673 ; mais sans démonstrations et sans faire connaître aucunement la manière dont ils furent obtenus. Or les pièces qui suivent fournissent les démonstrations qui manquent dans cet ouvrage, et jettent une vive lumière sur les méthodes employées par Huygens pour découvrir les résultats qu'il y énonce. »

A ce propos je rappellerai au lecteur français que l'analyse de l'*Horologium oscillatorium* forme exceptionnellement une bonne page de l'*Histoire des sciences mathématiques et physiques*, par Maximilien Marie (t. V, Paris, Gauthier-Villars, 1884 ; pp. 27-67). Les travaux de Huygens publiés ici, ainsi que les notes et commentaires des éditeurs qui les accompagnent, complètent de la manière la plus heureuse l'analyse de Maximilien Marie.

3° *Contributions au commentaire de Van Schooten sur la « Géométrie » de Descartes. Éditions de 1649 et 1659.* Ici je puis être court. La *Géométrie* de Descartes, on le sait, parut, l'année 1637, en français comme annexe au *Discours de la méthode*. En 1649 et 1659, Van Schooten en donna des éditions latines commentées par lui et par d'autres savants, notamment Florimond de Beaune. Huygens avait fait à son ancien maître

plusieurs réflexions judicieuses relatives à certaines propositions de la *Géométrie* de Descartes. Bienveillant, à son ordinaire, Van Schooten les accueillit sans difficulté et, comme jadis dans les *Exercitationes*, il les mit en relief parmi ses observations personnelles. Seuls, cela va de soi, les commentaires de Huygens à l'exclusion de ceux de Van Schooten sont reproduits ici ; mais les éditeurs y ajoutent une note complémentaire sur la *Géométrie* de Descartes trouvée dans les papiers inédits de Huygens.

4° *Travaux mathématiques divers de 1661 à 1666.* Il y en a onze, dont voici l'objet :

1° Recherches sur le calcul des logarithmes. 2° Recherches sur la courbe appelée par Huygens *logarithmique*. 3° Quadrature de l'hyperbole par les logarithmes. 4° Application de la théorie précédente à la détermination de la hauteur de l'atmosphère par l'emploi du baromètre. Les éditeurs font remarquer qu'au point de vue logique cette note n'est pas à sa place ici, mais ils n'ont pas voulu la séparer de la note précédente à laquelle elle est intimement liée. 5° Construction de l'heptagone régulier. Elle est ramenée à la résolution d'une équation cubique. 6° Quadrature de la courbe de Gutshoven et cubature de ses solides de révolution. 7° Recherches de 1666 sur la détermination des tangentes aux courbes algébriques. 8° Construction géométrique du diamètre d'une sphère. 9° Recherches sur les cubiques. Elles sont précédées de l'établissement de certaines formules de transformation des coordonnées. 10° Trouver le plus petit nombre qui, divisé par trois nombres donnés, laisse trois restes donnés. 11° Examen d'une rectification approchée de la circonférence.

Une remarque encore pour terminer ce compte rendu. Chacune des quatre parties dont se compose le présent volume est précédée d'un *Avertissement* très développé, dans lequel toutes les questions importantes auxquelles cet *Avertissement* se rapporte, sont étudiées en notations modernes, mais en conservant le plus possible le caractère archaïque et l'esprit des démonstrations originales. Partout de multiples éclaircissements mathématiques et historiques sont accumulés dans les notes du bas des pages. L'information est très sûre et la richesse de la documentation nous reporte à bien des années en arrière, en nous rappelant le temps où paraissait le *Bullettino di Bibliografia e di Storia delle Scienze matematiche e fisiche* du prince Boncompagni. Si les éditeurs ont cherché, comme nous le croyons,

à faire de leur XIVe volume des *Œuvres complètes de Christiaan Huygens,* un ouvrage facile à lire par les mathématiciens les plus étrangers à l'histoire de leur science, il faut reconnaître qu'ils y ont réussi.

H. Bosmans.

II

A History of the conceptions of limits and fluxions in Great Britain from Newton to Woodhouse, by Florian Cajori Ph. D., professor of History of Mathematics in the University of California. — Un volume in-12 de viii-299 pages de la *Open Court Series of Classics of Science and Philosophie,* avec les portraits de Berkeley et de Mac-Laurin hors texte. — Chicago et Londres, The Open Court Publishing Company, 1919.

Dans son livre des *Pensées*, Pascal a écrit sur la « Différence entre l'esprit de géométrie et l'esprit de finesse » une page célèbre, qui est d'une application fréquente dans l'histoire des mathématiques. Une idée vraiment neuve se crée presque toujours par l'esprit de finesse, plus tard seulement on la creuse avec un esprit géométrique. Faut-il rappeler la différence entre ces deux esprits ? Le mathématicien qui se laisse guider par l'esprit géométrique définit tous les termes, énonce explicitement tous les postulats et tous les axiomes, en déduit jusqu'au dernier tous ses théorèmes avec une rigueur logique impeccable. Le premier livre des *Eléments* d'Euclide est l'un des plus parfaits modèles d'un écrit de ce genre ; mais dans l'ordre chronologique la science ne débute pas par un premier livre des *Éléments* d'Euclide.

L'esprit de finesse au contraire se contente volontiers des clartés de l'intuition. Moins méticuleux que l'esprit de géométrie, il est créateur d'idées autant celui-ci l'est peu, et, pour n'en point donner d'autre exemple, c'est l'esprit de finesse qui fit inventer par Leibnitz le calcul différentiel, par Newton le calcul des fluxions. La première impression que les mathématiciens éprouvèrent en prenant connaissance de ces nouveaux calculs, c'est que Leibnitz et Newton leur mettaient entre les mains un merveilleux instrument de recherche. Plusieurs se contentèrent de se servir de l'outil, sans trop se préoccuper de sa valeur intrinsèque, ni de la solidité, dirais-je, avec laquelle il était construit. Mais d'autres, plus férus de logique, cherchèrent

à le perfectionner en y introduisant l'esprit géométrique qui en rendrait l'emploi plus sûr. Travail lent, ardu, qui fut loin d'être toujours poursuivi avec des succès sans revers et donna lieu à d'interminables controverses. Cauchy le premier, croyons-nous, mit à la fois la clarté et la rigueur dans les fondements du calcul infinitésimal, et les traita avec le véritable esprit géométrique, tel que l'entend Pascal. Mais après combien d'échecs subis par ses devanciers ? Les vicissitudes de l'exposé des premiers principes de la méthode infinitésimale depuis Leibnitz et Newton jusqu'à Cauchy constituent un des chapitres les plus intéressants de l'histoire des mathématiques.

M. Cajori vient de le reprendre, du moins en partie, dans le petit volume que je présente aujourd'hui au lecteur. Le calcul différentiel de Leibnitz, comme tel, est exclu du sujet et n'intervient que pour autant qu'il influença le calcul des fluxions. On sait qu'à l'origine le calcul de Newton avait un caractère bien plus géométrique que celui de Leibnitz : de plus, l'illustre Anglais l'accompagnait de considérations de temps et de vitesse reconnues maintenant inutiles.

Le professeur de l'Université Californienne commence ses recherches aux *Principia* de Newton et les arrête aux *Principles of analytical calculation* de Robert Woodhouse (Cambridge, 1803). Au cours de ce travail, il ne s'occupe explicitement que de l'Angleterre. Il est bien entendu, cependant, que plusieurs savants du continent, tels l'Hôpital, Euler, Lagrange, etc., ont eu trop d'influence, même de l'autre côté du détroit, pour n'être pas fréquemment nommés ; mais ils passent néanmoins au second rang, et ce n'est évidemment pas celui qui leur reviendrait dans une histoire générale. C'est dire que M. Cajori écrit au point de vue anglais, sans beaucoup se préoccuper de ce qui se passe chez les voisins. Loin de moi de vouloir le critiquer. Ce point de vue est très acceptable, mais on doit s'en souvenir, si on ne veut pas être induit en erreur quand on se sert du volume du professeur de Berkeley.

Une traduction de la Table des matières à laquelle j'avais d'abord songé allongerait ce compte rendu sans apprendre, me semble-t-il, grand'chose au lecteur. Je me contenterai donc de dire que tous les auteurs anglais de la période étudiée qui se sont occupés avec quelque notoriété des fondements du calcul infinitésimal sont successivement passés en revue par M. Cajori. Son ouvrage se termine par un Index alphabétique des matières et des noms propres.

H. Bosmans.

III

Bio-bibliographie de Gemma Frisius, fondateur de l'École belge de Géographie, de son fils Corneille et de ses neveux, les Arsenius, par Fernand van Ortroy, professeur à l'Université de Gand. Présentée à la Classe des Lettres de l'Académie Royale de Belgique, dans sa séance du 4 décembre 1911. — Un volume in-8°, de 418 pages et 7 planches hors texte. Extrait de la Collection des Mémoires in-8° de la Classe des Lettres et des Sciences morales et politiques ; 2e série, T. XI. — Bruxelles, Maurice Lamertin, M. Hayez. Octobre 1920.

Travail merveilleux d'exactitude et de précision, fruit de longues années d'inlassables et patientes recherches dans toutes les bibliothèques importantes de l'Europe. L'auteur épuise un sujet embrouillé, des plus complexes. Présentée à l'Académie Royale de Belgique, le 4 décembre 1911, comme il est dit au titre, la *Bio-bibliographie de Gemma Frisius* n'a vu le jour qu'en octobre 1920, après une attente de près de neuf ans ! C'est un écrit d'avant-guerre, qu'on parcourt avec sympathie et satisfaction, mais aussi avec quelque regret, car on le proposerait en modèle, si, dans les circonstances actuelles, c'était possible sans un grain d'ironie. En effet, pour stimuler de nouvelles initiatives, il faudrait avant tout, comme le dit M. van Ortroy dans les dernières lignes de la Préface, « faire tomber de façon définitive les obstacles qui s'opposent au prêt le plus large de cet instrument précieux entre tous : le livre ». Que nous en sommes loin aujourd'hui ! Et combien les obstacles au prêt du livre se sont au contraire multipliés depuis la guerre !

L'œuvre de Gemma Frisius, de son fils Corneille et de ses neveux, les Arsenius, peut se considérer à deux points de vue : celui du savant et celui du bibliophile. M. van Ortroy s'y place successivement, mais le premier seul intéresse les lecteurs de la Revue. L'érudit professeur de l'Université de Gand semble, cependant, avoir plutôt un faible pour le beau et vieux livre. Je ne le regrette pas. Je m'en félicite plutôt, même au point de vue de la science. Le soin apporté à la description détaillée de tant d'éditions rares, la patience avec laquelle en sont relevées les particularités, le zèle surtout avec lequel en sont signalés les exemplaires connus, tout cela contribue à mettre entre les mains du savant un instrument de recherche, qui ne saurait être rem-

placé par aucun autre. Et tout d'abord, cet instrument a permis à M. van Ortroy lui-même de nous donner de la vie et des travaux de son héros principal, Gemma Frisius, un précis qui ne laisse dans l'obscurité aucune circonstance importante.

Gemma Frisius naquit à Docum, en Frise, le 8 décembre 1508 et mourut à Louvain, le 25 mai 1555, âgé de 46 ans seulement. Son père se nommait Regnier. D'après Ekama, dans sa *Verhandeling over Gemma Frisius,* le mot Gemma est la forme latinisée du prénom frison Gemme, qui dans l'idiome national se prononce Jemme ou Iemme (VERHANDELING DER EERSTE KLASSE VAN HET KONINKLIJK NEDERLANDSCH INSTITUUT VAN WETENSCHAPPEN, LETTERKUNDE EN SCHOONE KUNSTEN TE AMSTERDAM, VII, Amsterdam, 1825, p. 218). Il s'ensuit que Gemma Frisius eût dû régulièrement se nommer Gemme Reniers ou Gemma Regneri. Quant au qualificatif Frisius, le Frison, ce n'est qu'un adjectif ajouté au nom propre pour rappeler le pays d'origine de celui qui le portait. Mais notre personnage a donné un tel lustre à ce qualificatif de Frisius, qu'à tort on en fait parfois son nom propre. M. van Ortroy rappelle avec à-propos, qu'une fantaisie pure fait de Gemma la traduction latine des noms à forme germanique : van den Steen ou Edelgestein.

On ignore la date précise où Gemma Frisius fut chargé d'un cours de médecine à l'Université de Louvain. Ce fut probablement entre 1537 et 1539. Il enseigna aussi de bonne heure les mathématiques, mais était-ce dans une chaire de l'Alma Mater? La chose paraît douteuse, et ses leçons firent plus probablement l'objet d'un cours privé.

La vie de l'illustre professeur s'écoula paisible et sans grands événements. Elle doit tout son éclat au renom de l'enseignement de Gemma Frisius et à ses ouvrages. M. van Ortroy regarde comme le plus beau titre de gloire du savant la fondation de l'École belge de géographie. J'ai quelque peine à me rallier sans aucune réserve à cet avis. Gemma Frisius me semble avoir laissé une empreinte personnelle, bien plus profonde, bien plus durable dans d'autres domaines de la science. En tant que géographe et cartographe, il fut vite éclipsé par son incomparable élève Gérard Mercator. Ailleurs il eut deux traits de génie qui font époque. La science en sent encore aujourd'hui la féconde influence. Les voici :

Tout d'abord, au XVIe siècle, comme de tout temps, le problème de la détermination des longitudes en mer préoccupait les navigateurs. Gemma imagina pour le résoudre l'emploi des

montres portatives qui conservent sur le vaisseau l'heure du port d'embarquement. Cette méthode a définitivement prévalu.

Ensuite, dans son opuscule *De locorum describendorum ratione*, Gemma Frisius indiqua comme moyen pratique de dresser la carte d'un pays, celui de le couvrir d'un réseau de grands triangles, dont les sommets occuperaient les flèches de hauts clochers ou le faîte d'éminences bien en vue : les tours du triangle Middelbourg-Gand-Anvers, par exemple, ou celles du triangle Anvers-Malines-Louvain. Un peu plus d'un demi-siècle plus tard, dans son *Eratosthenes Batavus* (Lugdini Batavorum, Georgius Abrahami a Marsse, 1617) Willebrord Snellius perfectionna le procédé en y ajoutant la mesure directe d'une base initiale. Mais à part cette addition, d'ailleurs importante, le livret de Gemma Frisius contient l'idée-mère de toutes les triangulations modernes.

Ces deux grandes inventions de Gemma Frisius sont excellemment exposées et très en détail par M. van Ortroy. Si je m'écarte quelque peu du professeur de l'Université de Gand, c'est uniquement au point de vue de l'importance relative qu'il convient, me semble-t-il, de leur donner dans l'ensemble des travaux du professeur de Louvain. Question d'ailleurs accessoire, et sans y insister davantage je continue l'examen de la *Biobibliographie de Gemma Frisius*.

M. van Ortroy y met encore en relief les solides connaissances mathématiques et astronomiques de Gemma. Il prouve les connaissances mathématiques du Frison en rappelant l'originalité des réflexions que Gemma Frisius avait écrites dans les marges de son exemplaire de l'*Arithmetica Integra* de Stifel. Hélas ! ce joyau inestimable de la Bibliothèque de Louvain a été détruit par les Allemands dans le sac de la ville universitaire !

Reste Gemma Frisius astronome. Pour nous le montrer à ce point de vue, M. van Ortroy s'en réfère surtout à une lettre du 20 juillet 1541 écrite par le professeur de l'Université de Louvain à son Mécène, l'évêque Dantiscus. On y remarque, dit M. van Ortroy, que Gemma était favorable au système de Copernic. C'est parfaitement exact. Mais il faut y ajouter une nuance sur laquelle Pierre Duhem a jadis appelé l'attention dans son *Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Copernic* (Paris, Hermann, 1908, p. 82). Il est intéressant de la rappeler.

La lettre de Gemma à Dantiscus est, je viens de le dire, de 1541 et le *De revolutionibus orbium cœlestium* ne parut qu'à la mort de Copernic, c'est-à-dire en 1543 ; mais l'ouvrage était annoncé à grand fracas et impatiemment attendu.

Or, voici où avec Duhem je veux en venir.

En astronomie, pendant le Moyen Age et au début de la Renaissance, deux grandes Écoles renouvelées des Grecs furent en présence : celle d'Aristote et celle de Ptolémée. Pour les péripatéticiens, une hypothèse astronomique n'était recevable qu'à la condition de s'appuyer sur la vérité physique. Pour les ptoléméens au contraire, la réalité des choses importait peu. Une hypothèse était bonne dès qu'elle représentait fidèlement le phénomène et se prêtait bien au calcul. D'où, la facilité avec laquelle ils multipliaient ou supprimaient les épicycles, les excentriques, les déférents, etc. Les partisans de Ptolémée savaient pertinemment que tout cela n'existait pas dans la nature. C'étaient notamment les idées de la brillante école de Peurbach et de Régiomontan.

Ce n'étaient ni celles de Copernic, ni celles de son fidèle disciple Rhéticus, qui avait annoncé tapageusement la prochaine apparition de l'œuvre du maître. Par trempe d'esprit, le chanoine de Thorn et Rhéticus étaient péripatéticiens. Ils soutenaient tous deux, non seulement que le nouveau système astronomique sauvait mieux que l'ancien les apparences des phénomènes ; non seulement qu'il était plus simple et se prêtait mieux au calcul, mais ils étaient en outre convaincus que ce système était physiquement vrai, conforme à la réalité en dehors de toute hypothèse.

L'éditeur du *De revolutionibus orbium cœlestium*, André Osiander, appartenait à l'autre école. Admirateur sincère de l'œuvre de Copernic, mais préoccupé du danger que les idées philosophiques de l'auteur sur la nature des hypothèses astronomiques pouvaient faire courir au chef-d'œuvre dont il venait d'achever l'impression, Osiander profita de la mort du chanoine de Thorn pour mettre en tête du *De revolutionibus* une Préface demeurée célèbre, dans laquelle il défendait, sans se nommer, ses propres idées. Le public pouvait croire que Copernic présentait seulement son système comme une hypothèse dépeignant mieux les phénomènes célestes que les hypothèses de Ptolémée.

Or, cette Préface d'Osiander, Gemma Frisius en 1541 ne la connaissait pas. C'est, cependant, le point de vue auquel il se place lui-même dans sa lettre à Dantiscus, et voilà ce qu'il est intéressant de remarquer pour connaître le fond de sa pensée. Écoutons-le : (p. 410)

« Je n'entame aucune dispute, dit-il, au sujet des hypothèses dont il (Copernic) use pour sa démonstration ; je n'examine

point quelles elles sont et quelle part de vérité elles renferment. Il m'importe peu qu'il prétende que la Terre tourne ou qu'il la déclare immobile, pourvu que nous ayons une connaissance absolument précise du mouvement des astres et des durées de ces mouvements, et que les uns et les autres se trouvent réduits en un calcul très exact. »

Je m'arrête à regret, tant le volume de M. van Ortroy suggère à tout instant des réflexions imprévues, mais je dois me borner. Impossible, cependant, de déposer la plume sans une dernière remarque. Il me faut, en effet, insister sur la variété, la richesse, le caractère utilitaire et pratique des renseignements que nous fournit M. van Ortroy, et cela sur les écrivains les plus divers du XVIe siècle. Je ne parle pas seulement de Corneille Gemma et des Arsenius nommés au titre du volume, je fais allusion à une foule d'autres personnages qu'on est agréablement surpris de rencontrer à l'improviste. On souhaiterait, toutefois, qu'une table des noms propres facilitât les recherches.

Parmi ces innombrables renseignements d'ordre secondaire, j'indiquerai, néanmoins, un oubli qui mérite, peut-être, d'être relevé. A la page 133 (note 3) M. van Ortroy nous donne une liste des principaux ouvrages à consulter relativement à Tycho Brahe. Deux des plus importants et notamment le plus important de tous y sont omis. C'est, d'abord, *Tycho Brahe. A picture of scientific life and work in the sixteenth Century*, par J. L. E. Dreyer (Édimbourg, Black, 1890. Un vol. in-8° de XVI-405 pages). C'est ensuite et surtout la splendide édition grand in-4° des *Tychonis Brahe Dani Opera Omnia*, publiée sous les auspices de l'Académie de Danemark. Le premier volume en a paru en 1913 et j'en ai rendu compte dans la REVUE en avril 1914. Plusieurs autres ont vu le jour depuis lors, pendant la guerre. N'eût-il pas été possible d'en tenir compte en corrigeant les épreuves ? Quoi qu'il en soit, la nouvelle édition des œuvres de Tycho Brahe peut être mise en parallèle avec les meilleurs modèles : les œuvres de Fermat, de Descartes, de Huygens et de Galilée. Elle l'emporte sur toutes celles-ci par le luxe extraordinaire de l'impression.

H. BOSMANS.

IV

ÉLÉMENTS D'ALGÈBRE VECTORIELLE ET D'ANALYSE VECTORIELLE, par L. SILBERSTEIN, ancien professeur de physique mathématique à l'Université de Rome. Traduits de l'anglais par GEORGES

MATISSE. Un vol. de 129 pages (19 × 12). — Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Les ouvrages français traitant du calcul vectoriel n'abondent pas. M. Matisse nous a rendu service en traduisant celui-ci.

Dans maintes publications, notamment de physique mathématique, les algorithmes du calcul vectoriel, comme par exemple le magique ∇ ou « Nabla » de Hamilton, s'introduisent de plus en plus. Ce calcul permet d'opérer sur les grandeurs dirigées ou vecteurs, telles les vitesses et les forces, en tenant compte de leur direction, sans considérer séparément leurs projections sur les axes d'un système de référence : procédé plus expéditif et plus intuitif que celui par exemple de la mécanique analytique classique.

M. Silberstein explique rapidement, allégrement, dans un ordre habilement ménagé, les définitions et règles opératoires de ce précieux calcul. Son exposé s'appuie largement sur la considération directe de figures schématiques bien choisies et sur des applications concrètes assez simples. L'auteur ne prétend pas, je pense, à la stricte rigueur ; mais volontiers on lui en fait grâce, parce que, tout en laissant entrevoir le moyen d'atteindre l'exactitude rigoureuse des raisonnements, il montre avec moins d'efforts la raison d'être des conventions opératoires sur les vecteurs.

A qui désire être mis brièvement, mais solidement, au courant de cette nouvelle méthode mathématique, connaître les formules les plus importantes de l'algèbre et de l'analyse vectorielles, posséder dans un tableau les équivalents cartésiens de ces formules, obtenus par projection des vecteurs sur des axes de référence, nous dirons volontiers, s'il dispose d'une connaissance suffisante des éléments essentiels du calcul algébrique et infinitésimal : ce qui vous convient, c'est cet opuscule.

H. DOPP.

V

THE THEORY OF THE IMAGINARY IN GEOMETRY, TOGETHER WITH THE TRIGONOMETRY OF THE IMAGINARY, par J. L. S. HATTON, M. A., Principal and Professor of Mathematics, East London College. Un vol. petit in-8° de VIII-216 pages, avec 100 fig. dans le texte. — Cambridge, University Press, 1920.

La position de tout point réel de l'espace peut être déterminée par trois coordonnées réelles, et réciproquement. On peut se

demander ce qu'est la géométrie où les coordonnées de chaque point peuvent être des quantités complexes de la forme $x + ix'$, $y + iy'$, $z + iz'$. Une telle géométrie donne comme cas particulier celle des points réels, en annulant soit x', y', z', soit x, y, z, ou bien encore en considérant les seuls points dont les coordonnées sont des multiples réels d'une même quantité complexe $a + ib$.

La relation de la conception la plus générale de l'espace et de la géométrie avec celle de la géométrie réelle a de l'importance par le fait que des points déterminés par des quantités complexes se présentent naturellement, par exemple en géométrie projective. Le but de l'ouvrage est de déterminer cette relation.

Deux méthodes peuvent être suivies. La première, qui consiste à échafauder une théorie générale sur un fondement d'axiomes et de définitions, a été adoptée par certains auteurs. La seconde, préférée et suivie dans le présent ouvrage, joint aux axiomes de la géométrie réelle certaines hypothèses supplémentaires. Comme le dit M. Hatton, ainsi développée la théorie peut être considérée, du point de vue analytique, comme une exposition du « principe de continuité », qui est souvent cité, mais rarement expliqué.

La définition fondamentale des points imaginaires est celle donnée en 1856 par K. von Staudt.

Voici un sommaire. Ch. I (pp. 1-40). Points et longueurs imaginaires sur des droites réelles. Extension du concept d'involution réelle. Droites imaginaires. Propriété des figures semi-réelles. Extension des théorèmes de Menelaus, de Céva. Quadrangle et quadrilatère. Propriétés harmonique et involutive d'un quadrangle semi-réel. — Ch. II (pp. 41-69). Cercle avec une branche réelle. Figures de Poncelet pour un cercle et pour deux cercles. Conique avec une branche réelle. — Ch. III (pp. 70-124). Angles entre droites imaginaires. Leur mesure. — Ch. IV (pp. 125-140). La conique en général. Pôles et polaires. Théorème de Pascal, de Brianchon, de Desargues, de Carnot. — Ch. V (pp. 141-163). La conique imaginaire. — Ch. VI (pp. 164-195). Tracé des coniques et des droites. — Ch. VII (pp. 196-212). L'imaginaire dans l'espace. — Index des théorèmes (pp. 213-215). — Index des termes et des définitions (p. 216).

Cet ouvrage est écrit avec un soin digne des *Principles of Projective Geometry,* auxquels l'auteur renvoie fréquemment. Mais on y reconnaît aisément l'esprit anglais.

Pour l'impression on a utilisé deux sortes de caractères, le petit texte étant réservé à des questions plus spéciales ou plus

difficiles. L'exécution typographique est fort soignée et les figures sont des modèles.

M. Lecat.

VI

An Introduction to Combinatory Analysis, par le major P. A. Mac Mahon, D. Sc., Sc. D., LL. D., F. R. S., Member of St John's College. Cambridge. Un vol. petit in-8° de VIII-71 pages. — Cambridge, University Press, 1920.

L'auteur, qui est bien connu par ses nombreux travaux sur la matière, présente cet opuscule comme introduction à son bel ouvrage en deux volumes, intitulé *Combinatory Analysis*, qui parut en 1915-16 et qui est de lecture assez difficile.

Le but de ces livres est de montrer qu'une partie importante de l'analyse combinatoire et l'algèbre des fonctions symétriques ont entre elles des liens étroits et fort élégants. (On sait qu'une fonction de plusieurs quantités est dite symétrique si elle reste inaltérée par l'échange de deux quelconques de ces quantités.)

La substance de cette *Introduction* est répartie en six chapitres, dont le premier constitue précisément un exposé très élémentaire de la théorie de ces fonctions.

L'étude de cet opuscule n'exige aucune connaissance spéciale. Nous la recommandons aux mathématiciens, dont la plupart sont fort ignorants dans ce domaine.

M. Lecat.

VII

Statique. Dynamique, par M. Stuyvaert, correspondant de l'Académie royale de Belgique, professeur à l'Université de Gand. Un vol. de 205 pages (23 × 15) avec 58 fig. dans le texte. — Gand, Van Rysselberghe et Rombaut, 1920.

Simples notes de cours, ce volume ne semble être fait que pour les candidats-ingénieurs de l'Université de Gand. L'enseignement y est conçu en vue de l'utilisation pratique ; les méthodes graphiques sont développées avec préférence ; quelques exercices très simples proposés au cours des leçons permettront à l'élève de s'assurer s'il les a comprises et s'il peut en tirer profit. Pas de préface : soit. Mais aussi pas de table de matières ; pourquoi ? Serait-ce pour forcer l'étudiant à se rendre compte

du contenu de son manuel ? Mais pourquoi lui laisser en surplus le soin de corriger tant de fautes d'impression, de suppléer des lettres manquant dans les figures, des paragraphes de liaison entre les diverses questions, des compléments nécessaires à certaines définitions ? Celles-ci, pour être utilisables, n'en doivent pas moins être rigoureuses.

H. Dopp.

VIII

Les Étoiles simples, par F. Henroteau, astronome à l'Observatoire d'Ottawa. Un vol. de l'*Encyclopédie Scientifique* (Bibliothèque d'Astronomie et de Physique céleste), in-12 de 244 pages. — Paris, C. Doin, 1921.

Une bonne synthèse de nos connaissances actuelles sur l'univers sidéral, sauf ce qui est particulier aux étoiles multiples, et abstraction faite des nébuleuses. Douze chapitres bien choisis et bien rangés : les grandeurs stellaires et les constellations ; les cartes et catalogues ; les classes spectrales et l'évolution stellaire ; la photométrie ; la colorimétrie ; les parallaxes ; les mouvements propres ; les vitesses radiales ; le mouvement du Soleil ; le dénombrement et la distribution des étoiles ; leurs températures ; leur scintillation. Les chapitres relatifs aux distances, aux mouvements et aux températures des étoiles sont les plus intéressants. L'auteur réussit à guider son lecteur dans la pénible classification des étoiles d'après leur spectre, ce qui est fort méritoire, et on aime sa manière un peu détachée d'exposer, sans prendre parti, les différentes hypothèses actuellement en présence dans le domaine de l'évolution stellaire.

Ce livre est le premier qui, depuis la guerre, ait paru dans la Bibliothèque d'Astronomie de l'*Encyclopédie Scientifique*. On se réjouit de cette reprise, comme de voir que, déjà, les auteurs sont désignés pour plusieurs ouvrages nouveaux : les observations astronomiques, le Soleil, les étoiles multiples et les nébuleuses, les comètes, la photographie astronomique. — Mais les volumes de votre *Encyclopédie,* si jolis naguère, Monsieur Doin, c'est sur du bien vilain papier que vous les imprimez aujourd'hui.

M. A.

IX

Annuaire pour l'an 1921, publié par le Bureau des Longitudes. Un vol. in-16 de VIII + 710 + 42 + 17 + 69 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

L'*avertissement* signale les quelques modifications de détail apportées à l'Annuaire pour 1921. — Ce volume renferme la troisième et dernière partie de l'étude de M. Bigourdan sur les *Cadrans solaires,* dont les deux premières parties ont été insérées dans les Annuaires pour 1918 et 1920 : réunis et publiés à part, ces articles formeraient un petit ouvrage très intéressant. Le chapitre relatif aux statistiques a dû subir de profonds remaniements, mais il n'a pas encore été possible d'y donner les statistiques complètes sur les États modifiés ou créés par les récents traités de paix.

Notice A (42 p.). — G. Bigourdan. — *Les mouvements propres et les vitesses radiales des étoiles.* — Dans cet excellent article de vulgarisation, on remarquera la manière heureuse dont l'auteur expose le principe de Doppler-Fizeau par analogies successives : ondes liquides, ondes sonores, ondes lumineuses.

Notice B (17 p.). — Général Bourgeois — *Notice sur le Général Bassot.* — Pendant près d'un demi-siècle, l'activité du Général Bassot fut liée au développement de la géodésie française. Sa grande œuvre a été la nouvelle mesure de la méridienne de France, de Dunkerque aux Pyrénées, la jonction de l'Espagne et de l'Algérie, la triangulation de la méridienne d'Alger au Sahara. Né en 1841, reçu à l'École Polytechnique en 1861, capitaine et désigné pour participer aux travaux géodésiques de l'armée en 1870, directeur du Service Géographique et général de brigade en 1898, atteint par la limite d'âge et mis au cadre de réserve en 1903, depuis lors directeur de l'Observatoire du Mont Gros à Nice, Léon Bassot est mort à Paris le 17 janvier 1917. Il appartenait au Bureau des Longitudes depuis 1875 et à l'Académie des Sciences depuis 1893.

M. A.

X

Où en est l'Astronomie, par l'Abbé Th. Moreux, Directeur de l'Observatoire de Bourges. Un vol. in-8° de VI-295 pages avec 62 gravures. — Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Ce volume fait partie de la Collection des Mises au point.

A la base de toute science naturelle se place l'observation. Les hypothèses et les théories ne peuvent trouver un point d'appui solide que sur des faits consciencieusement constatés et scrupuleusement contrôlés. Aussi, dans l'étude des corps célestes, l'auteur s'applique-t-il avant tout à donner au lecteur une idée exacte et complète de ce que la méthode expérimentale a révélé de leur nature physique. Il s'attache ensuite à faire connaître les interprétations des savants et en discute la valeur respective.

Le problème solaire est abordé le premier. Quelle est la constitution de l'étoile qui nous éclaire ? Quelles sont les lois de son activité ? Comment s'exerce son action sur la Terre ? De quoi ce foyer s'alimente-t-il ? Telles sont les questions discutées dans le premier chapitre. Après avoir passé en revue les planètes inférieures, l'auteur aborde ensuite l'étude de la Terre, si féconde en problèmes complexes : formation et constitution du globe terrestre, forme du géoïde, contraction de l'écorce de notre planète, influences diverses que le Soleil lui fait subir. Un chapitre est consacré à la Lune. L'énigme martienne, les astéroïdes, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, ainsi que les satellites des grosses planètes font l'objet des chapitres suivants. Le problème des distances couronne cette étude. Et, pour achever l'examen du système solaire, deux chapitres sont consacrés aux comètes, aux étoiles filantes et aux bolides.

Le Soleil n'est qu'une étoile parmi tant d'autres. Les progrès des méthodes spectroscopiques ont permis aux astronomes de sonder des régions de plus en plus reculées de l'Univers, et d'arracher à des soleils lointains les secrets de leur constitution, de leurs mouvements et de leur intensité lumineuse. A quelles conclusions vont conduire les récentes découvertes faites par les astronomes dans le domaine stellaire ? Quelle est la constitution de l'Univers ? Et l'Univers lui-même est-il unique, ou bien existe-t-il des Univers multiples ? Telles sont les questions que M. l'Abbé Moreux se pose dans les dernières pages de son livre. Les lecteurs de cette Revue ont eu, dans le numéro de janvier dernier, la primeur des idées exposées dans ces beaux chapitres.

Le grand public, auquel ce livre est destiné, lira avec intérêt et profit ce bel ouvrage qui s'ajoute à la série déjà longue des livres de vulgarisation de M. l'Abbé Moreux.

J. Gaillard, S. J.

XI

Calcul des organes des machines, par J. Boulvin. Un vol. de 515 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Le très regretté professeur de l'Université de Gand s'est acquis une réputation méritée par ses travaux de thermodynamique.

Mais, quittant les sphères de l'abstraction, il est entré résolument dans le domaine de la réalisation pratique, et il ne s'y est pas trouvé dépaysé.

La preuve en est ce traité où l'auteur n'est, certes pas, inférieur à lui-même.

Par ses fonctions d'administrateur-délégué de l'Association pour la surveillance des chaudières à vapeur — dite Association Vinçotte, — M. Boulvin s'est naturellement familiarisé davantage avec la construction de chaudronnerie et, en cette matière, le savant qu'il est ne pouvait manquer d'apporter des idées, à la lumière desquelles s'aperçoivent mieux certains phénomènes et se dissipe l'empirisme de certaines formules.

Tel est le cas, notamment, pour « la recherche des tensions dans une paroi sphérique percée d'une ouverture » : l'auteur a certainement eu en vue la recherche des tensions dans les fonds bombés des chaudières à foyer inférieur, qui sont d'ailleurs parmi les plus répandues.

La méthode de l'auteur est particulièrement heureuse dans l'examen de nombreuses questions qu'il indique d'ailleurs lui-même dans son introduction : la résistance des récipients annulaires à parois entretoisées (chaudières de grues locomotives), la détermination des tensions dans les parois d'un caisson rectangulaire (chaudières à tube d'eau), la sollicitation des boulons dans un joint élastique (fond et couvercle d'un cylindre à vapeur) ou dans un joint rodé, l'état des tensions dans une douille soumise à des forces alternatives, en tenant compte de l'élasticité et du serrage initial (clavetage des tiges de piston dans la douille d'une crosse), les déterminations graphiques qui se rapportent à l'étude des crochets, la recherche des tensions dans une enveloppe cylindrique comprenant deux coquilles jointes par des brides diamétrales boulonnées (enveloppes de turbines).

Observons encore que l'auteur a mis son traité au niveau des

derniers perfectionnements de la mécanique ; il y a inséré des chapitres nouveaux, notamment en ce qui concerne les tourillons à frottement de roulement (paliers à rouleaux et à billes) et la vitesse critique des arbres en mouvement de rotation, qu'il importe de connaître dans l'étude des appareils rotatifs actuellement en vogue, turbo-moteurs et turbo-récepteurs. Touchant ces questions, l'auteur a surtout condensé la matière éparse dans les revues et publications spéciales, et, ce faisant, il a fait œuvre éminemment utile.

Enfin l'auteur expose, dans un style concis mais clair, sans rien oublier, j'ose le dire, tout ce que l'ingénieur-constructeur doit connaître. J. J.

XII

Résistance des matériaux et Élasticité. Cours professé à l'École des Ponts et Chaussées par Gaston Pigeaud, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, chef du Service central d'études techniques du Ministère des Travaux Publics. — Un vol. gr. in-8° de xvi-772 pages, avec 201 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

En lisant cet ouvrage on a l'impression très nette qu'il n'est l'œuvre exclusive ni d'un professeur soucieux avant tout de spéculation théorique, ni d'un praticien dont l'horizon serait borné aux seules exigences du terre-à-terre quotidien. On y constate l'intervention d'une science élevée, mais non cultivée pour elle-même, seulement adaptée aux problèmes tels que les fournit la réalité, et poussée assez loin, d'autre part, pour englober tout le cycle que peut avoir à parcourir un ingénieur adonné aux problèmes les plus hauts de son art.

M. Pigeaud montre, dans ce cours, qu'aucune des parties de la théorie même la plus difficile ne lui est étrangère, et qu'il est, par ailleurs, admirablement instruit par une longue expérience personnelle des véritables besoins de la technique. Il apparaît, sous ce double rapport, comme le digne continuateur de Jean Résal, et c'est là, croyons-nous, proclamer d'un seul mot toute l'étendue et la solidité de son mérite.

L'heureuse alliance chez M. Pigeaud du théoricien et du réalisateur le met en garde contre l'attrait de la plus grande élégance analytique, de la plus grande généralité aussi, au détriment de la plus grande rapidité et commodité du calcul effectif. C'est ainsi que, sur bien des points, quoique n'ignorant rien des pro-

grès acquis dans la voie de l'analyse, il reste fidèle aux méthodes d'auteurs regardés aujourd'hui comme quelque peu passés de mode, Bresse par exemple, méthodes qui, en réalité, étaient fort bien appropriées aux besoins vrais de la pratique.

Le volume reproduit, au reste, exactement l'enseignement donné par l'auteur à l'École des Ponts et Chaussées, enseignement qui, dans les dernières générations d'ingénieurs formées à cette école, a déjà produit les meilleurs fruits.

Nous nous bornerons ici à donner une idée succincte des matières qui y sont traitées.

Après le rappel des notions indispensables relatives à la mécanique, à la statique graphique, au calcul graphique des intégrales, à l'application des conditions générales d'équilibre aux solides naturels, qui occupent les trois premiers chapitres, l'auteur développe la théorie des poutres prismatiques, en envisageant successivement la détermination des réactions des appuis et de la force extérieure relative à une section quelconque, la recherche des efforts moléculaires, eu égard aux hypothèses de la résistance des matériaux, enfin la recherche des déformations ramenée à l'emploi des formules de Bresse pour la déformation d'ensemble de la fibre moyenne, abstraction faite de la déformation attribuable à l'effort tranchant que, d'accord avec Jean Résal, l'auteur considère comme « non seulement inutile, mais illogique » de faire intervenir.

Une des caractéristiques de la théorie telle que l'envisage M. Pigeaud consiste dans la généralité de l'usage qu'il y fait de la notion de ligne d'influence relative à un effet quelconque, le tracé de toute ligne de cette espèce étant d'ailleurs ramené à celui de la courbe funiculaire correspondant à une certaine répartition de charges fictives. Cette notion se complète en outre par celle des lignes enveloppées ou courbes des effets maxima et minima pour une poutre soumise à des surcharges variables.

Pour le calcul du travail de déformation, l'auteur met en évidence la loi de réciprocité générale telle qu'en réalité elle se dégage des travaux de Maxwell, bien que l'on ait l'habitude de n'en attribuer à cet illustre inventeur que certains cas particuliers semblant déduits de théorèmes dus à d'autres auteurs.

Application est aussitôt faite de ces généralités aux poutres droites portant sur deux appuis simples, ainsi qu'aux consoles simples, aux poutres-consoles et aux ponts-grues.

Avec les poutres encastrées, le problème se complique du fait que l'on se trouve ici en présence d'un système hyperstatique,

c'est-à-dire d'un système dont la seule statique ne permet pas de déterminer les conditions d'équilibre, et pour lequel, par conséquent, il faut recourir aux équations de déformation. L'auteur a d'ailleurs, pour sa part, introduit dans cette question de sensibles simplifications, grâce à d'ingénieuses remarques sur la forme de la ligne d'influence du moment fléchissant dans une section donnée.

Il généralise ensuite d'une façon remarquable les théories précédentes pour le cas des poutres à travées solidaires, en indiquant par surcroît les modifications à y apporter lorsqu'on suppose les appuis compressibles.

L'auteur traite avec le même soin la question des poutres en arc, en s'inspirant des travaux de Bresse pour le cas des arcs articulés aux naissances et développant avec habileté une solution conçue dans le même esprit pour celui des arcs encastrés, toujours en se fondant sur une étude approfondie des diverses lignes d'influence, grâce à quoi tout se simplifie. Il passe ensuite en revue divers types spéciaux d'arcs ou d'assemblages de poutres et d'arcs : arcs à triple articulation ; poutres à béquilles ; etc.

Le chapitre XIV porte un titre : « quelques règles spéciales de calcul » qui n'est pas de nature à faire présager *à priori* toute son importance ; c'est, en réalité, une étude critique très serrée de cas où les hypothèses de la résistance des matériaux ne sont pas suffisantes à elles seules pour expliquer les faits et doivent recevoir certains compléments, ainsi que des modifications qui en résultent dans les méthodes de calcul. Ces cas comprennent les pièces à forte courbure, les poutres de hauteur rapidement variable, les pièces chargées du bout et, plus généralement, les systèmes instables pour lesquels, par une analyse savante, l'auteur détermine les charges critiques.

L'auteur passe ensuite aux poutres et systèmes triangulés munis d'articulations, qu'il ramène systématiquement au seul type réticulaire, grâce, le cas échéant, à l'introduction de triangles fictifs infiniment aplatis provenant de ce qu'on peut appeler le « dédoublement » de certaines diagonales.

Pour la recherche des efforts dans les barres, il a recours, cela va sans dire, aux procédés classiques fournis par la statique graphique (Cremona, Culmann, Ritter), et il rattache à ce sujet l'étude d'un arc à triple articulation et celle d'une ferme du type Gisclard (type aujourd'hui très répandu dans les applications en raison de ses incontestables avantages), une telle ferme pouvant être considérée comme un arc à triple articulation renversé.

Pour les poutres triangulées à assemblages rigides, où, par suite, les réactions que les barres exercent ou qu'elles subissent à leur extrémités peuvent n'avoir pas leur direction, l'auteur montre comment le calcul peut être fait pratiquement d'une manière approchée ; il expose la méthode de Jean Résal faisant appel à un retour à la théorie des poutres prismatiques, et qui s'étend aussi aux poutres composées.

L'étude des câbles de ponts suspendus, isolés ou associés à des poutres de rigidité, est l'occasion pour l'auteur d'apporter diverses contributions personnelles de grand intérêt, notamment au sujet des problèmes divers concernant les câbles obliques. A propos des poutres de rigidité, il arrive à concilier d'ingénieuse façon les vues de Jean Résal et de M. Godard avec celles de Rankine et de Maurice Lévy.

Les règles spéciales aux ouvrages en maçonnerie ou en ciment armé sont résumées avec une remarquable clarté en un court chapitre, et l'on ne saurait manquer d'être frappé de l'extrême simplicité à laquelle elles se trouvent ainsi réduites.

Ce n'est qu'une fois achevée cette étude de la partie élémentaire, en quelque sorte, de la résistance des matériaux, de celle qui vise la grande majorité des constructions rencontrées dans la pratique, que M. Pigeaud aborde la théorie générale de l'élasticité qui permet d'atteindre à des cas plus complexes. Cette marche, vu la façon dont l'auteur conçoit son enseignement, est des plus rationnelles.

Ayant, dans un premier chapitre, établi les équations fondamentales qui régissent le sujet pris dans sa plus grande généralité, l'auteur se restreint, pour pousser la théorie plus avant, au cas, pratiquement de beaucoup le plus important, de l'élasticité plane ou à deux dimensions, où, à l'exemple de Collignon, de Maurice Lévy, de Jean Résal, il fait largement usage de la représentation graphique due à M. d'Ocagne.

Pour le cas de trois dimensions, il traite en détail le problème de Saint-Venant, dont il examine à part nombre d'intéressants cas particuliers, et développe une théorie vraiment simple de la flexion des plaques planes de faible épaisseur, pour laquelle également il pousse la solution à fond dans de nombreux cas particuliers. Tout ce morceau constitue une des parties les plus originales de l'ouvrage.

Le reste du volume est consacré à l'étude de l'équilibre des massifs pulvérulents, pour laquelle l'auteur s'est inspiré des recherches magistrales de M. Boussinesq, mais en y apportant,

au point de vue didactique, les plus heureuses simplifications. Si, pour le fond, ce sont les idées et les méthodes du savant professeur de Sorbonne qui ont constamment guidé l'auteur, il n'en est pas moins vrai que leur exposé, sous la forme où il est ici présenté, fait vraiment figure d'œuvre originale et nouvelle.

Le beau livre de M. Pigeaud a toutes les qualités requises pour prendre rang, dès son apparition, parmi les meilleurs classiques de la science de l'ingénieur.

Ph. du P.

XIII

Essai d'un Traité élémentaire de physique selon les théories modernes, par J. Tillieux, directeur du Collège du Sacré-Cœur à Mechelen-sur-Meuse. 2e édition entièrement refondue et mise à jour. Un vol. de xii + 793 pages (25 × 17) avec 694 fig. et 6 planches hors texte. — Paris et Liége, Béranger, 1921.

Il a été rendu compte, dans la livraison d'octobre 1920 de cette Revue, du remarquable manuel élémentaire intitulé : *Leçons élémentaires de physique,* publié par M. J. Tillieux. L'*Essai d'un traité élémentaire de physique,* dont nous avons sous les yeux la 2e édition, est en quelque sorte la « partie du maître » du même manuel. Le plan suivi est donc identiquement le même, sauf le développement beaucoup plus considérable donné à certaines sections. Dans les parties communes au Traité et aux Leçons, on a, en général, affaire au même texte.

Nous avons fait connaître ce plan en détail, et nous avons, en toute franchise, essayé d'apprécier ses avantages et ses inconvénients. Nous avons également loué l'originalité et le talent d'exposition qui caractérisent la manière de l'auteur, sans dissimuler les négligences qui la déparent. Sur tout cela il est inutile de revenir, sauf pour reconnaître en toute justice qu'il y a moins de laisser-aller dans la tenue du texte. Il est de toute nécessité pourtant que le Traité subisse, comme les Leçons, une révision sévère en vue d'une nouvelle édition. Tous ceux qui ont eu quelque part à l'enseignement de la jeunesse savent combien il est important et difficile d'habituer les enfants à la propriété des termes, qui est inséparable de la précision de la pensée. C'est une vérité banale même dans la formation littéraire. C'est *à fortiori* un besoin tout à fait fondamental dans l'enseignement des sciences.

Comme guide du maître, comme répertoire où il peut puiser un complément d'information sur les théories dont il n'enseignera que les rudiments, le livre est excellent. La théorie mécanique de la chaleur, par exemple, est bien présentée et avec des développements suffisants pour en bien faire saisir la merveilleuse souplesse. Pour le dire en passant, cet exposé manque absolument, en général, aux manuels français, alors que, dans d'autres pays, les traités élémentaires en présentent souvent un très bon sommaire. Mais il y a une lacune bien étrange, déjà signalée à propos des Leçons : le mot de Thermodynamique n'est pas prononcé et les lois si importantes dont l'ensemble est connu sous ce nom célèbre sont traitées uniquement au point de vue spécial de la théorie cinétique.

Il y a beaucoup à louer dans la théorie des courants électrique faites au moyen des ions et des électrons, dans l'usage des analogies hydrauliques et mécaniques pour l'explication du champ magnétique et de l'induction : nous avons remarqué notamment bon nombre d'expériences simples et nouvelles dont quelques-unes très frappantes. Ce qui nous plaît moins, comme nous l'avons déjà dit, c'est l'emploi assidu des considérations de souffle et de tourbillon d'éther, et aussi celui du terme « tension » avec des acceptions peu définies.

Naturellement tout le groupe des phénomènes de l'électricité dans les gaz, de la radioactivité, des propriétés des électrons et des ions, de la constitution des atomes, dont l'auteur a fait une étude approfondie, et qu'il a magistralement résumés dans la conférence parue dans cette Revue (1), occupe une place importante, une place d'honneur, peut-on dire, dans le volume. C'est une des parties les mieux réussies.

Mentionnons aussi les lois du rayonnement, dont l'importance augmente sans cesse, et qu'il est très utile d'introduire le plus tôt possible dans l'enseignement, la télégraphie sans fil, avec ses derniers progrès, tels que les tubes à 3 électrodes, etc.

Dans la préface de la 2e édition, l'auteur, avec une modestie louable, s'exprime ainsi : « Malheureusement pour nous, les temps troublés dans lesquels la 1re édition a vu le jour n'étaient pas favorables à la critique et nous n'avons reçu aucune indication sur des corrections ou des améliorations à introduire ». Nous autorisant de cet appel, nous nous permettons de lui

(1) Livraison de juillet 1920.

signaler encore les réflexions suivantes annotées au courant de la plume.

La théorie du thermomètre manque de netteté.

N° 298. La pression critique n'est pas définie de manière satisfaisante.

N° 300 (note au bas de la page 205). L'équation de Van der Waals donne bien les courbes d'Andrews, mais à l'exception précisément des parties rectilignes dont il est question ici.

N° 306 (note de la p. 213). La dernière phrase est inexacte : toute la masse se vaporiserait bien (elle ne se *volatiliserait* pas) d'un coup, mais sans augmentation de pression, puisque le changement d'état se ferait au point critique.

N° 309. Une « température critique de solidification » est introduite sans définition, et elle en aurait bien besoin, car c'est une inconnue pour les physiciens.

Au n° 334 il est dit : « La résistance élastique e (grandeur non définie et appelée plus loin, dans le même n°, « force élastique ») dépend de deux facteurs : M et v. » On en conclut immédiatement $e = vM$, ce qui est évidemment illégitime, si on n'a pas précisé la nature de la dépendance.

Dans le magnétisme, pourquoi ne pas rappeler la règle du nageur d'Ampère ? et celle du tire-bouchon ? qui n'est pas donnée non plus, sauf erreur.

N° 713. La loi de Lenz est formulée seulement pour le cas du mouvement, au lieu de l'être d'une façon générale pour la variation du flux embrassé par le circuit.

N° 835. Dans la définition du foyer, le mot « principal » est omis.

N° 951. La théorie du mirage est faite au moyen de la réflexion totale. On sait que cette explication est insuffisante. Il était facile de la faire correctement au moyen de la théorie des ondes. Les notions exposées plus haut y suffisent abondamment.

Le n° 979 n'explique pas clairement pourquoi le spectre fourni par un simple prisme n'est pas pur.

D. T.

XIV

Zur Elementaranalyse der Relativitaetstheorie von Prof. Dr. C. Isenkrahe. Un vol. de 133 pp. (15 × 23). Sammlung Vieweg. *Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik.* — Vieweg, Braunschweig, 1921.

L'auteur, professeur de philosophie à Trèves, connu par ses recherches dans le domaine frontière des principes de la mathématique, de la philosophie naturelle et de la foi catholique, a voulu ici contribuer à l'apaisement du conflit suscité par les théories physiques récentes de relativité.

De nombreux ouvrages ont été publiés déjà, en allemand et en anglais, par les auteurs et les partisans de ces conceptions

nouvelles, Einstein, Weyl et d'autres, sur les *Fondements* ou *Principes* de la théorie de relativité. M. Isenkrahe soumet ces principes eux-mêmes à une analyse conceptuelle et dialectique, pour apporter plus de clarté dans le problème. Les idées nouvelles, il a voulu les étudier chez leurs auteurs mêmes, et s'il a limité sa critique à l'exposé de M. Weyl dans l'ouvrage *Raum, Zeit und Materie*, c'est que M. Einstein lui-même fit de cet ouvrage le plus grand éloge.

Sa méthode consiste à décomposer les assertions théoriques, en y distinguant les notions premières — non susceptibles de définition — telles que : chose, existence, moment, ici; les concepts — définis pour le besoin de la recherche scientifique — tels que : individu, intramental, transmental, mouvement, dimension ; et les principes premiers — qui ne se démontrent point, mais s'établissent par le fait que l'esprit se prononce entre deux énoncés contradictoires — par exemple : le mot « moment » signifie quelque chose qui n'a qu'une valeur purement intramentale ou qui n'a pas seulement une valeur intramentale, mais une valeur à la fois intra- et transmentale, et en ce sens une valeur universelle.

L'auteur applique cette méthode progressivement à préciser les questions de moment, de lieu, de mouvement, durée et trajectoire, de limite, dimension, courbure et intervalle, de comparaison, de mesure d'intervalles de temps, de coordonnées temporelles, de comparaison d'objets étendus et enfin au problème de l'espace fini mais non limité de Riemann.

Sa critique est pénétrante et les distinctions de concepts qu'il multiplie à chaque pas, le soin qu'il met à expliciter leurs définitions et les notions premières qu'elles supposent sont preuves d'une remarquable sagacité. Il faut le suivre dans son travail d'analyse pour se rendre compte de la prudence indispensable à qui pense devoir récuser les principes classiques ; nier ces principes ne va pas logiquement sans s'affranchir aussi des concepts classiques et sans voir par quoi les remplacer. La tâche n'est pas aisée.

Le but avoué par l'auteur est de poser les questions, non point de les résoudre. Mais la manière dont il les pose pourrait faire croire chez lui à un réalisme peut-être exagéré. En théorie physique il ne s'agit que de trouver l'expression aussi adéquate, et à la fois aussi simple que possible, des *phénomènes ;* les *choses en soi* n'intéressent pas le physicien comme tel. Quand donc l'auteur parle de ce qu'il désigne du terme « transmental », il

doit entendre par là non point le transmental *en soi* mais le transmental comme phénomène, c'est-à-dire susceptible d'être perçu par nous, c'est-à-dire revêtant les formes temporelles et spatiales de notre connaissance sensitivo-intellectuelle. Le physicien comme tel n'a nul besoin de se prononcer entre deux propositions contradictoires, quand elles se rapportent aux choses en soi.

H. Dopp.

XV

Cours de Chimie. *Lois générales ; Métalloïdes. A l'usage des candidats aux Grandes Écoles*, par Marcel Boll, Docteur ès Sciences, Agrégé de l'Université, Professeur à l'École Arago. Préface de Georges Darzens, Professeur à l'École Polytechnique. Deuxième édition refondue. Un vol. in-8° de xvi-554 pp. — Paris, Dunod, 1920.

Le *Cours* de M. Boll constitue une vraie et excellente introduction à l'étude de la chimie. Ce qui le distingue surtout d'autres ouvrages poursuivant le même but, est son caractère éminemment didactique et d'actualité. M. Boll expose les lois générales de la chimie, toute la partie théorique, à mesure que, dans l'étude des corps, il en rencontre une application importante. Avant lui, plusieurs autres auteurs avaient déjà tenté cette voie, et rompu heureusement avec une vieille tradition d'après laquelle on exposait d'abord toute la partie théorique pour passer ensuite à l'étude des différents éléments et de leurs composés. Les inconvénients de cette méthode étaient nombreux et graves ; mais la nouvelle prête aussi à des objections, dont la principale est, que l'élève n'acquiert pas facilement une vue synthétique sur l'ensemble des doctrines chimiques. M. Boll y a remédié d'une façon très heureuse en résumant dans les deux derniers chapitres toutes les lois et théories exposées au cours de l'ouvrage et donnant ainsi à l'élève une idée d'ensemble de la chimie générale. — Sous un autre rapport encore M. Boll se montre vraiment didactique. Laissant de côté la description d'un grand nombre de substances dont l'étude ne présente d'autre avantage pour l'élève que de charger sa mémoire, il insiste spécialement sur les corps qui par les vues théoriques qu'ils ouvrent ou par les applications dans l'industrie, la pharmacie, la vie quotidienne, présentent un intérêt réel. Certes, beaucoup de programmes officiels n'y trouvent peut-être pas

leur compte — en France aussi bien qu'en Belgique —, mais à qui la faute ? Il est plus que temps que ces programmes soient remaniés et mis d'accord avec l'état actuel de la chimie.

Une autre qualité du *Cours* de M. Boll est son cachet d'actualité. Ce que nous venons de dire l'indique déjà dans une certaine mesure. Mais c'est surtout en examinant les questions théoriques traitées ou du moins esquissées qu'on constatera cette qualité. Nous ne pouvons malheureusement entrer dans les détails. Citons seulement à titre d'exemples : la théorie des réactions chimiques de Perrin et Mac Lewis, celle des nombres atomiques, etc.

Après avoir parcouru le livre de M. Boll, on n'hésitera pas, nous en sommes convaincu, à souscrire à l'opinion qu'exprime M. le Professeur Darzens dans sa préface : « Je ne saurais trop féliciter M. Marcel Boll d'avoir écrit, pour les débutants, un livre d'enseignement clair et concis, qui répond aux exigences actuelles et se délivre des conventions coutumières à ces sortes d'ouvrages. J'ai trouvé, au cours de ma lecture, les idées les plus neuves, l'exposition des lois les plus importantes et les théories les plus récentes ».

Nous ne saurions trop recommander le *Cours* de M. Boll à tous ceux qui désirent s'initier sérieusement à l'étude de la chimie ; il ne devrait manquer dans la bibliothèque d'aucun professeur de chimie, même de l'enseignement moyen. Nous avons été souvent consulté au sujet d'un manuel de chimie qui permettrait à un médecin, à un pharmacien, à d'autres, qui ont achevé il y a une vingtaine ou une trentaine d'années leurs études chimiques, d'acquérir une idée de la chimie moderne. Nous étions embarrassé, ne sachant trop quel ouvrage recommander. Le *Cours* de M. Boll est pour tous ceux-là le livre demandé.

H. De Greeff, S. J.

XVI

Traité de Chimie physique, par William C. Mc. Lewis, Professeur de Chimie physique à l'Université de Liverpool. Traduit sur la 2e édition anglaise par H. Vigneron, Licencié ès Sciences physiques et chimiques. Tome I : *Théorie cinétique*. Un vol. in-8° de xvi-416 pages. — Paris, Masson et Cie, 1920.

M. Vigneron a rendu un réel service par sa traduction du *Traité* de M. Mc. Lewis. En effet, un ouvrage de Physico-Chimie

complet et approfondi n'existait pas en langue française. D'autre part, le *Traité* de M. Mc. Lewis a une grande valeur, et le succès mérité qu'il a trouvé chez nos amis d'Outre Manche lui est également assuré dans les pays de langue française, dès qu'il aura trouvé un digne interprète. On doit féliciter M. Vigneron d'avoir assumé cette lourde tâche ; le premier volume que nous avons en main est d'un traducteur à la hauteur de sa tâche.

Disons-le de suite : Le livre de M. Mc. Lewis n'est pas composé pour les débutants. L'auteur le dit formellement et renvoie l'élève aux ouvrages élémentaires pour une première initiation aux doctrines de la Chimie physique. Un mot sur le plan d'ensemble de l'ouvrage : Dans un premier volume l'auteur expose les principales questions de la Physico-Chimie en se basant exclusivement sur la théorie cinétique. Le second volume reprend les phénomènes et les approfondit en prenant pour base les principes et les formules de la thermodynamique, ce qui permet à l'auteur, sans faire usage de considérations mathématiques trop relevées, de compléter l'étude de beaucoup de questions et d'examiner spécialement aussi l'influence de la température sur la vitesse et la limite des réactions. Enfin le troisième volume est consacré à l'étude des *quanta* et des conséquences qui en découlent.

Indiquons sommairement quelques questions traitées dans le premier volume. L'auteur explique, d'une manière claire et concise, la constitution moléculaire de la matière d'après les données de la théorie cinétique. La lecture de ce premier chapitre donne immédiatement l'impression que l'ouvrage de M. Mc. Lewis est vraiment un livre moderne, tenant compte des toutes dernières recherches. C'est une observation qui s'impose d'ailleurs dans tout le reste du volume. L'exposé de la théorie atomique classique est fait très sommairement, mais il est suivi de considérations plus développées sur les mouvements et les grandeurs absolues des molécules, leur existence réelle, leur nature, sur la nature et la constitution des atomes, sur leur désintégration et la radioactivité. Nous sommes, on le voit par cette simple énumération, au cœur même des recherches les plus récentes. Il nous est malheureusement impossible de parcourir les autres chapitres pour montrer leur richesse. L'étude de la distribution des molécules et des atomes dans l'espace, de la constitution des cristaux, de l'équilibre chimique dans les systèmes homogènes et hétérogènes, des systèmes hors d'équilibre et de beau-

coup d'autres questions, illustrée par de nombreuses applications, rend le livre non seulement très instructif, mais aussi fort intéressant.

Tous ceux qui s'intéressent à l'étude de la Physico-Chimie, et ce ne sont évidemment pas seulement ceux qui ont choisi cette branche comme spécialité, mais en général ceux qui s'occupent sérieusement de la Chimie, tant minérale qu'organique, spécialement aussi les Ingénieurs, engagés dans les industries chimiques, devraient posséder cet ouvrage et l'étudier ; ils sont sûrs d'y trouver ample moisson d'idées qui leur seront d'un grand secours dans leurs travaux.

H. De Greeff, S. J.

XVII

Organic medicinal chemicals (synthetic and natural) by M. Barrowcliff, M. B. E., F. I. C. and Francis A. Carr, C. B. E., F. I. C. Un vol. de 331 pages. — London, Baillière, Tindall and Cox, 1921.

Samuel Rideal a entrepris, depuis quelque temps, la publication d'une série d'ouvrages qui sont les bienvenus après la terrible tourmente dont une des conséquences a été le développement considérable des industries chimiques dans tous les pays alliés. La collection des « Industrial Chemistry » n'a aucune prétention scientifique, mais poursuit, avant tout, un but d'utilité pratique : édité avec soin, illustré de nombreuses figures, pourvu d'une bibliographie et d'un choix de références judicieusement triées, chacun des volumes qui la composent est un compendium indispensable tant aux chefs d'industrie en quête de renseignements simples et concis qu'aux jeunes chimistes qui débutent dans la vie pratique avec un bagage scientifique chargé, mais une formation technique souvent rudimentaire.

Le nouveau volume qui vient de paraître est consacré aux composés organiques qui font partie de l'arsenal thérapeutique du médecin. Il est à peine besoin d'en signaler l'utilité à un moment où, de plus en plus, l'étude poursuivie des relations qui existent entre la constitution chimique des corps et leur action biologique, tend à substituer aux produits naturels les composés plus nombreux et plus variés de la synthèse artificielle. Ce petit ouvrage ne convient ni aux cliniciens ni à ceux que tente l'étude théorique de ces relations ; mais il est presque indispensable à celui qui, soit dans le calme du laboratoire, soit dans la vie

agitée de l'usine, cherche à approfondir et à développer les applications de la thérapeutique rationnelle. Il est divisé en onze sections consacrées chacune à l'étude d'un des groupes les plus importants des composés médicamenteux, c'est-à-dire, les narcotiques, les alcaloïdes, les anesthésiques, les antipyrétiques, les antiseptiques, les purgatifs, les vaso-constricteurs et dilatateurs, les diurétiques, les composés organo-métalliques et les glucosides. La lecture de ce livre, tout entier écrit en une langue claire et concise, rendra de réels services et fera économiser bien du temps aux chimistes et aux industriels auxquels il s'adresse.

F. M.

XVIII

Précis de chimie analytique, par G. Denigès, professeur de chimie biologique à l'Université de Bordeaux. 5e édition. Un vol. petit in-8°, de 1155 pages avec 156 figures, 2 planches en noir et 1 en couleurs. — Paris, Maloine et fils, 1920.

Le nom de M. Denigès est trop connu en chimie analytique pour qu'il soit besoin de faire longuement l'éloge de ce « Précis ». D'ailleurs, le volume en est à sa cinquième édition, ce qui montre suffisamment sa valeur. Disons de suite que cette cinquième édition a été enrichie de nombreuses additions qui la mettent au courant des progrès de la science. Mentionnons encore le fait que l'auteur ne se contente pas de nous donner les caractères analytiques de composés minéraux, mais qu'il en fait de même pour un grand nombre de fonctions organiques, ce qui lui permet de nous donner un procédé de recherche systématique de quelques produits organiques. Enfin, à côté des méthodes courantes, on trouve un très grand nombre de réactions très sensibles et de procédés techniques dont un grand nombre sont des inventions de l'auteur, et qui, malgré leur précision, leur commodité et leur intérêt scientifique, ne sont pas toujours assez connus.

Qu'il nous soit permis toutefois d'exprimer un regret. Dans une annexe au chapitre III de la première partie, l'auteur nous donne la théorie de l'ionisation d'Arthénius ; dans la deuxième partie, il donnera de même au chapitre II l'acidimétrie et l'alcalimétrie dans la théorie de l'ionisation, et dans une annexe au chapitre III l'oxydimétrie et la réductimétrie dans

la théorie des ions. Son traité aurait certainement beaucoup gagné au point de vue scientifique, si, à l'exemple d'Ostwald, de Treadwell, de Böttger et de bien d'autres, il avait franchement adopté dans tout son exposé cette théorie que l'auteur lui-même n'hésite pas à proclamer « si remarquable par les aperçus nouveaux qu'elle a introduits dans la science et dont l'analyse chimique ne saurait se désintéresser aujourd'hui ». On pourra regretter aussi que la concentration des solutions soit indiquée en pourcentage, ce qui ne donne pas des solutions équivalentes au point de vue chimique, au lieu d'être indiquée, comme cela se fait actuellement par beaucoup d'auteurs, en mòles, ce qui donne des solutions qui au point de vue chimique se valent.

P. W.

XIX

Des colloïdes métalliques. Propriétés et préparations, par Paul Bary. Un vol. in-8° de VIII-95 pages avec nombreuses figures. — Paris, Dunod, 1920.

Les substances colloïdales prennent dans la chimie physique une importance de plus en plus grande, et il n'est plus permis, même au technicien, d'en ignorer les applications et les propriétés. Malheureusement, les traités classiques de physique et de chimie, même les plus récents, n'en disent généralement que peu de chose ; ce n'est guère que dans les tout derniers temps qu'on a commencé à traiter d'une façon systématique la chimie des colloïdes. M. Bary a voulu apporter sa pierre à cet édifice en publiant cette monographie sur les colloïdes métalliques. Sans doute, les colloïdes métalliques ne sont qu'une petite partie du sujet général, mais les applications qu'on en a déjà faites et celles qu'on prévoit comme prochaines, leur donnent un intérêt tout particulier. Après avoir parlé dans le chapitre I des propriétés des suspensions métalliques, de l'action du courant électrique, de l'influence des électrolytes, etc., l'auteur étudie dans le chapitre II les modes chimiques de préparation, notamment la préparation chimique de l'argent colloïdal, de l'or, du platine, et d'autres métaux des mêmes groupes. Dans le chapitre III il étudie les modes électriques de préparation et en particulier la préparation par ce procédé du mercure colloïdal. Enfin, dans le chapitre IV il donne quelques applications : les propriétés catalysantes des métaux colloïdaux, ainsi que l'usage

de ceux-ci en thérapeutique. L'auteur a voulu que son exposé fût aussi complet que possible, tout en restant concis ; il a ajouté des renvois nombreux aux sources originales pour les lecteurs qu'intéresse spécialement un point déterminé. Cette courte monographie ne manquera donc pas d'intéresser tant les chimistes que les pharmaciens et les médecins.

J. P.

XX

La chimie a la portée de tous, par L. Hickisch, chimiste industriel. Un vol. in-8° de 445 pages avec figures. — Paris, Dunod, 1920.

L'ouvrage, comme son titre l'indique, a pour but de mettre à la portée de tous, la chimie dans ses manifestations naturelles et dans ses très nombreuses applications industrielles. « Ce livre ne vise pas à faire des chimistes, mais à initier le profane en lui montrant la chimie appliquée telle qu'elle est, c'est-à-dire comme une science et non comme une sorte de cuisine magique ». « L'auteur s'adresse à tous ceux qui, soit par une saine curiosité d'esprit, soit par nécessité professionnelle, désirent s'initier aux méthodes et aux résultats de la chimie » (1).

L'ouvrage a deux parties. Dans la première, relativement courte, et qui ne sert que d'introduction à la seconde, l'auteur esquisse sommairement les données de la chimie pure : généralités, lois, théories, principes; chimie minérale, métalloïdes et métaux ; chimie organique ; aperçu de l'histoire de la chimie. Dans la seconde partie, qui est la partie principale, l'auteur étudie les applications de la chimie à l'industrie et à la vie de l'homme. Après quelques notions préliminaires sur les matières premières et les diverses industries chimiques, il traite successivement de la grande industrie chimique minérale ; de la métallurgie, des sels métalliques et des couleurs minérales ; des matériaux de construction (minéraux), pierres, chaux et ciments, céramique, verrerie ; des combustibles ; de la chimie de l'alimentation, des industries alimentaires et agricoles; des peaux et cuirs, fibres textiles animales et végétales, cellulose et industries connexes, apprêt des tissus ; des matières colorantes et de leurs applications en teinture, des couleurs et de la peinture,

(1) Introduction.

des encres et cirages ; des applications diverses de la chimie organique. Enfin de nombreuses indications bibliographiques terminent l'ouvrage.

J. P.

XXI

La faune continentale du terrain houiller du Nord de la France, par Pierre Pruvost, préparateur au Musée houiller de l'Université de Lille. Un vol. in-4°, xxxii-584 pages, 51 fig., 8 planches A-H dans le texte, xxix planches hors texte. (Ministère des travaux publics. Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. Introduction à l'étude du Terrain houiller du Nord et du Pas-de-Calais). — Paris, Impr. nat., 1919.

Jusqu'ici l'attention des paléontologistes qui ont étudié le terrain houiller du Nord de la France, s'était portée presque exclusivement sur les plantes. Le grand nombre des exemplaires recueillis, les descriptions et déterminations minutieuses ont permis d'établir la succession des flores et de fixer une série de zones et d'assises. Ce fut l'œuvre dont N. Barlay et R. Zeiller établirent les bases, et qui a été continuée et précisée depuis par M. P. Bertrand et M. l'abbé A. Carpentier. — De son côté, M. Ch. Barrois s'attachant, après Marcel Bertrand et Gosselet, au problème de la structure générale du Bassin houiller, signalait la présence, puis la répétition à plusieurs niveaux superposés, de strates marines : il en fixait l'exacte position, la grande extension dans le sens horizontal, et l'importance pour expliquer la genèse et suivre l'histoire du terrain houiller ; enfin il utilisait les repères précieux qu'ils fournissent pour montrer qu'il existe dans le bassin houiller deux lignes anticlinales longitudinales, parallèles, et pour établir définitivement le synchronisme entre les houilles maigres du nord et les houilles grasses du sud, et les zones de végétation du nord et celles du sud du bassin. — Le travail que vient de publier M. P. Pruvost, maître de conférences à l'Université de Lille, apporte une contribution nouvelle et très importante à cette œuvre d'ensemble.

Après une introduction que nous venons de résumer, l'auteur aborde dans sa première partie la description des animaux qui vivaient à l'époque houillère, dans l'air, sur le sol, ou dans les lacs d'eau douce. — Une seconde partie est consacrée à la stratigraphie du terrain houiller, d'après la succession des faunes qu'il a décrites.

Dans la première partie, M. Pruvost passe successivement en revue *les Mollusques*, *les Vers, les Crustacés, les Insectes*, *les Mésostomates et Arachnides*, *les Poissons*. — En ce qui concerne notamment les Insectes, les Arachnides et les Poissons, chacune de ces sections constitue à elle seule une véritable monographie, par le détail et l'exactitude de la description, la connaissance précise de l'anatomie générale et spéciale de chaque ordre, famille ou genre, la sûreté et la richesse de l'information bibliographique, la discussion des rapports et différences avec les formes similaires, la perfection du dessin et des nombreuses photographies documentaires (elles ne couvrent pas moins de 29 planches in-4°), la confection de clefs dichotomiques, enfin et surtout l'essai de reconstitution des milieux où ces êtres ont vécu. Pour marquer par un exemple l'importance et la nouveauté de l'œuvre ainsi accomplie, il est utile de rappeler qu'avant la publication des travaux de M. Pruvost, les Insectes n'étaient guère connus et mentionnés en France que dans les bassins houillers du Centre et notamment à Commentry ; 5 espèces seulement étaient reconnues dans les bassins houillers du Nord ; M. Pruvost porte ce nombre à 56 ; rappelons aussi, pour permettre d'apprécier ce résultat, que jusqu'ici 16 empreintes seulement d'ailes d'insectes ont été trouvées dans le terrain houiller de la Belgique.

Qu'on ne croie point d'ailleurs se trouver en présence d'un ouvrage destiné aux seuls spécialistes de la détermination paléontologique, ou aux stratigraphes appelés à s'en servir. M. Pruvost traite aussi, et de la manière la plus intéressante au point de vue général, les problèmes de bionomie et de phylogénie soulevés par ses observations : l'origine des métamorphoses chez les Insectes, la question de la descendance des insectes westphaliens et de leur évolution, les mœurs des insectes carbonifères, les facies éthologiques des gisements d'insectes houillers, etc. ; il a sur ces questions des pages que devront lire et consulter tous les naturalistes que sollicitent les questions les plus générales et les plus passionnantes de la biologie. Très intéressante aussi est à ce point de vue la contribution que l'auteur apporte à l'étude du problème de l'adaptation des poissons à l'eau douce, à l'époque houillère : il groupe les faits déjà relevés ailleurs et les observations nouvelles qu'il apporte, et rassemble ainsi pour chaque espèce le dossier qui permettra de se renseigner exactement à l'aide de son ouvrage sur la faculté d'adaptation de chaque type.

Dans la seconde partie, l'auteur établit la *répartition des*

espèces qu'il a étudiées *dans le bassin houiller du Nord*. C'est l'exposé des faits, en quelque manière un travail de statistique, résultat d'un labeur considérable, et qui est résumé ensuite en quelques coupes synthétiques pour les principaux centres explorés ; chacune de ces coupes porte l'indication des couches à plantes, des couches à faune limnique et des couches à faune marine. Ce travail suppose la mise en œuvre d'une masse considérable de matériaux dont le groupement n'a pu être obtenu, comme l'indique M. Pruvost, que par la collaboration de tous ceux, géologues et ingénieurs, que M. Ch. Barrois a su grouper autour du Musée houiller créé à Lille. Nous ne relevons le fait que pour constater que le travail scientifique peut progresser beaucoup et rapidement quand il est secondé par la sympathie éclairée des ingénieurs ou des chefs d'exploitations minières ; par un juste retour, les repères et directions ainsi déterminés et fournis par la science géologique deviennent pour l'exploitant des guides sûrs et précieux.

La répartition des espèces à chaque niveau dans chacune des assises une fois établie, l'*extension verticale* de chaque espèce : lamellibranches, crustacés, mésostomates, arachnides, poissons, s'obtient par déduction, si l'on peut dire, et s'inscrit dans une nouvelle série de tableaux. Nous arrivons ainsi au terme du travail de M. P., ou plutôt au but vers lequel tendait tout l'effort descriptif et paléontologique de l'auteur dans sa première partie : découvrir une base nouvelle pour classer les terrains houillers, établir des points de repère nouveaux pour suivre chaque assise ou même chaque faisceau de couches. On pourra désormais contrôler par l'examen de la faune continentale les données fournies par la flore, ou bien y suppléer quand celle-ci vient à manquer ou ne permet pas d'obtenir les précisions nécessaires.

Toutefois l'écueil d'une classification de ce genre pourrait résider dans son caractère trop régional. Les milieux limniques en particulier sont essentiellement variables comme composition, profondeur, température, et par suite doivent beaucoup varier, penserait-on, la composition et les caractères de la faune qui s'y développe. — En admettant comme des objections ces difficultés, les divisions reconnues dans le Westphalien par M. P. n'en subsisteraient pas moins, car elles ne sont pas seulement établies sur des espèces appartenant à un seul groupe, les lamellibranches par exemple, mais aussi sur la répartition stratigraphique des crustacés, des poissons. Or, on sait que

justement dans notre monde actuel, les poissons d'eau douce sont remarquables par l'aire d'extension très vaste d'une famille, d'un genre, voire d'une espèce.

D'ailleurs M. P. démontre que les zones qu'il a reconnues dans le Nord de la France se retrouveraient également en Belgique, où elles se laissent définir dans les subdivisions établies surtout à la suite des travaux de X. Stainier et A. Renier, et aussi en Angleterre, où les belles recherches du regretté W. Hind avaient dès longtemps permis de baser principalement sur la répartition des lamellibranches d'eau douce une division en zones du terrain houiller du North-Staffordshire.

L'œuvre de M. P. Pruvost, par la solidité des travaux préliminaires, par l'excellence de la méthode, par la portée générale des résultats obtenus, prendra rang parmi les meilleures qui aient paru sur le terrain houiller. Elle fait honneur à cette belle École géologique française dont il a suivi la meilleure tradition, qui fait de la paléontologie bien étudiée et bien connue l'instrument à la fois souple et sûr d'une bonne stratigraphie, et prépare ainsi une base sérieuse aux inductions et aux vues générales de la tectonique.

Lille. G. Delépine.

XXII

Anatomie et physiologie végétales, par L. J. Dalbis, professeur au Collège Stanislas. Un vol. de 375 pages (19 × 14) avec 428 figures dans le texte. — Paris, de Gigord, 1915.

Ce livre est destiné à servir de manuel aux élèves de philosophie et de mathématiques des universités de France. L'auteur s'est efforcé, comme il le dit dans sa préface, « de rester fidèle à l'esprit et à la lettre du programme officiel ».

Après quelques notions élémentaires de cytologie, M. Dalbis donne une longue étude de « l'appareil végétatif des phanérogames ». Puis il décrit la fonction de nutrition, chez les plantes chlorophylliennes aussi bien que chez les plantes inférieures. Vient enfin l'exposé du processus de reproduction, depuis ses modes les plus simples jusqu'au plus parfait : la dissémination d'une graine dont l'enveloppe protège un embryon déjà morphologiquement semblable au végétal adulte.

Le livre se termine par une rapide esquisse des théories opposées du fixisme et de l'évolution. Entre elles, l'auteur n'ose trop prendre parti ; il montre l'appoint que l'expérience et

l'observation ont apporté à chacune, et sans doute ne croit-il pas possible de synthétiser les résultats acquis, car il avoue voir en ce problème « une des grandes énigmes de l'heure présente ». Peut-être la question se fût-elle simplifiée, si l'auteur s'était dégagé quelque peu de la conception invétérée d'une évolution lente, gagnant, d'une marche régulière et continue, les formes supérieures de la vie, à partir des plus basses. Pourquoi cette ascension majestueuse de la vie n'aurait-elle pas manifesté parfois des sauts brusques ou des chutes instantanées à des époques où les conditions du milieu se seraient trouvées soudain très favorables ou plus nuisibles à son développement ? Il faudra bien en venir à cette conception si l'on veut intégrer dans la théorie de l'évolution les perfectionnements subits ou les régressions rapides que les découvertes paléontologiques accusent fréquemment dans la diversification des formes de la vie.

Un chapitre de ce livre doit retenir un instant notre attention : c'est l'ébauche de cytologie qui remplit les premières pages. L'auteur y explique, avec une entière assurance, l'anatomie de la cellule, sa physiologie, y compris sa multiplication, sans la moindre mention de la théorie des chromosomes. Pour M. Dalbis, l'élément figuré du noyau se réduit à un nombre considérable de petits granules chromatiques qui, lors de la maturation, s'organisent en un long filament unique : celui-ci se dispose à l'équateur du fuseau achromatique en un nombre spécifique d'anses qui, par un clivage longitudinal, envoient à chacun des pôles une moitié d'elles-mêmes et partant une moitié de chacun des granules dont elles étaient formées. Par cette répartition régulière des éléments ancestraux pourra s'expliquer scientifiquement l'hérédité.

Cette conception de l'organisation nucléaire eut son heure de succès et elle compte encore des partisans convaincus. Aussi passerions-nous à M. Dalbis de l'avoir faite sienne s'il avait bien voulu parler, fût-ce en une furtive note additionnelle, d'une autre théorie dont le moins qu'on puisse dire est qu'elle rallie aujourd'hui des cytologistes éminents. Elle démontre l'existence, à l'intérieur du noyau cellulaire, d'un nombre spécifique de bâtonnets chromatiques, les chromosomes, dont chacun est non pas un agglomérat fortuit de corpuscules moindres — et ceci est gros de conséquences — mais une formation bien caractérisée et persistante, se transmettant, grâce au clivage longitudinal, du noyau générateur aux noyaux engendrés. Nous regrettons

vraiment que cette théorie n'ait point paru mériter l'hommage d'une mention respectueuse.

Cette réserve faite, nous nous faisons un devoir de signaler la concision, l'ordre et la clarté qui rendent agréables la lecture et l'étude de ce manuel. Les 428 figures très parlantes, dont le texte est parsemé, facilitent encore, et de beaucoup, la tâche de l'étudiant : nous tenons à mentionner spécialement les tableaux de dessins juxtaposés par lesquels l'auteur réussit à rendre presque intuitive la succession des phases, souvent nombreuses, des phénomènes végétatifs les plus complexes. Toutes ces qualités ne peuvent que recommander, même en dehors de France, l'ouvrage de M. Dalbis aux étudiants qui suivent des cours de botanique.

R. Lange, S. J.

XXIII

Anatomie et physiologie animales, par L. J. Dalbis, professeur au Collège Stanislas. Un vol. de 713 pages (19 × 14) avec 520 figures dans le texte. — Paris, de Gigord, 1920.

Composé en vue du même but pratique, ce livre a tous les mérites du précédent, et c'est déjà le recommander suffisamment à nos étudiants en zoologie.

Après avoir reproduit, peut-être inutilement, les notions élémentaires de cytologie dont nous avons parlé, l'auteur étudie brièvement les tissus les plus simples : épithélial, glandulaire et conjonctif. Les autres tissus sont longuement examinés et décrits dans le corps même de l'ouvrage : « étude spéciale des fonctions chez l'homme ». Notons-en les sous-titres importants : Systèmes squelettique, musculaire, nerveux, digestif et respiratoire ; appareil circulatoire, appareil urinaire. La troisième partie, beaucoup plus restreinte, signale les divers types d'organisation dans le règne animal. Et le livre, pour ne pas parler de trois appendices d'importance secondaire, se termine par un coup d'œil rétrospectif sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux. Le texte clair et concis, ordonné très régulièrement pour la facilité de la mémoire, les tables synoptiques développées à souhait, les nombreuses planches schématiques très expressives acquièrent vite à M. Dalbis l'estime et la reconnaissance du lecteur.

Un seul point nous embarrasse : c'est le titre même du manuel. Que dans un traité d'anatomie et de physiologie ani-

males, la partie de beaucoup la plus considérable soit consacrée à l'étude des fonctions chez l'homme tandis que sont trop brièvement esquissées les organisations typiques de la vie dans le règne animal, voilà certes de quoi provoquer l'étonnement. Telle est cependant la distribution des matières prévue par le programme officiel. Nous en préférerions une autre, qui serait, par exemple, d'examiner, en autant de chapitres successifs, les perfectionnements graduels d'une même fonction vitale, ou encore de mettre en évidence, à propos de chaque embranchement animal, du plus rudimentaire au plus achevé, les transformations progressives des divers appareils fonctionnels. Mais peut-être les étudiants en philosophie et en mathématiques ne doivent-ils pas recevoir par ailleurs un cours d'anatomie et de physiologie humaines, et ce serait pour éviter cette lacune dans leur formation générale que le programme officiel aurait modifié sensiblement la conception classique du cours de zoologie. L'excuse n'est pas sans valeur. Il faut remarquer toutefois qu'à proposer sous cette forme l'enseignement de la zoologie on renonce irrévocablement au fruit principal qu'il doit produire : révélant au passage les mille combinaisons ingénieuses par lesquelles la vie adapte aux conditions les plus diverses l'exercice de ses fonctions essentielles, cet enseignement nous dégage de l'anthropomorphisme indéracinable auquel un égocentrisme supérieur nous enchaîne inconsciemment.

L'on doit regretter que pour avoir serré de près le programme fixé, un manuel aussi remarquablement composé que celui de M. Dalbis ne procure que très imparfaitement cet heureux résultat.

R. Lange, S. J.

XXIV

Le mystère des abeilles, par Eug. Evrard. Un vol. de 349 pages (19 × 11). — Tourcoing, Duvivier, 1921.

M. Eugène Evrard, en racontant son initiation à l'étude des abeilles, laisse entrevoir combien les longs discours et les belles considérations des premiers apiculteurs qu'il consulta furent loin d'éveiller en lui une vocation qu'il désirait pourtant. Plus heureux — et de façon décisive — fut ce curé de campagne qui lui écrivit ce simple mot : « Venez » et se contenta, au milieu de quelques explications d'ailleurs peu écoutées, de lui ouvrir une ruche et de lui en montrer l'ordonnance insoupçonnée. « Vous

savez à présent ce qui est nécessaire, conclut-il. Vous avez le secret : il faut les aimer, il faut les voir ».

Et cependant, pour s'intéresser aux abeilles et les aimer, il n'est pas indispensable de les avoir vues ; il suffit de lire les quatre cents pages que M. Evrard vient de leur consacrer. Savant positif autant que poète enthousiaste, il révèle de maîtresse façon vraiment les secrets déjà découverts et les mystères encore impénétrés de nos pourvoyeuses de miel. Lorsqu'après quelques pages l'attention s'est faite à la richesse d'un style parfois surchargé, quand l'imagination s'est accoutumée aux comparaisons visuelles multipliées parfois aux dépens de la sobriété, la lecture entraîne irrésistiblement à suivre la colonie ailée à travers les aspects toujours nouveaux de son développement.

Par un midi de printemps, l'essaim d'abeilles vient se poser en grappe sur la branche d'un tilleul. L'apiculteur averti le recueille prudemment dans une ruche de paille ou de bois ; aussitôt, dociles, ne rêvant que d'assurer l'avenir porté par leur reine en son sein, les travailleuses se mettent à la besogne ; la nouvelle demeure est balayée méticuleusement avant que s'y construisent — si l'homme n'en a disposé d'artificiels — les rayons de la maison géométrique. Merveille en vérité que cette lente élaboration de la cire, amassée peu à peu en des murs suspendus où les architectes de la tribu viennent creuser des milliers d'alvéoles. La main de l'homme, aidée des instruments les plus délicats, n'atteint pas la perfection de lignes de ce réseau. C'est dans ces alvéoles, suivant leur position et leurs dimensions, que seront déposés les trésors de la ruche : les butineuses y verseront le nectar fraîchement puisé aux nectaires des fleurs : les ventileuses, après les longs jours de la mellification, y transvaseront le miel, puis le recouvriront d'un opercule diaphane ; la reine, au cours du cycle de sa maternité, y pondra les œufs spermatogénétiques — d'où naîtront les bourdons paresseux — ou les œufs fécondés. De ceux-ci les nourricières, par une profusion de bouillie nourrissante, feront sortir parfois, au lieu d'une humble travailleuse, une élégante vierge que le vol nuptial fera mère incessamment productrice.

Le palais ne doit pas être achevé pour que commence cette vie de travail : dès les premiers jours cirières, butineuses, ventileuses, nourricières, s'épuisent à l'envi, car l'abeille est essentiellement active. Le labeur quotidien est sa vie. S'il est troublé parfois, ce n'est que par des événements, extraordinaires sans doute, mais passagers : telles l'exécution des prétendants, ou la

fièvre paresseuse avant l'essaimage. La nuit même n'est pas un temps de repos : quand les fleurs ont scellé sous leurs corolles repliées les trésors convoités, l'abeille active la concentration du nectar déjà récolté. L'hiver seul, sans fleurs et sans soleil, fera rester inactives les avettes désolées ; elles se tasseront au centre de la ruche, se pressant pour se réchauffer, se passant de bouche en bouche le miel engrangé dans les cuvettes du pourtour. Les plus âgées, vaincues par la vieillesse et par le froid, tomberont peu à peu sur le plancher, avec un bruit mat qui est leur glas funèbre. Mais aux premiers beaux jours, l'allègre bourdonnement s'élèvera de nouveau, signe d'une vitalité conservée, présage d'un avenir de fécondité. Et par un midi de printemps, laissant à la ruche, avec une nymphe royale près d'éclore, des milliers de servantes fidèles, la reine et son essaim s'envoleront de nouveau vers un autre asile pour le même labeur.

Ces quelques lignes n'ont pas la prétention de résumer l'excellent livre de M. Evrard ; elles sont incapables aussi d'en faire prévoir tout l'attrait. Nous ne pouvons vraiment que renvoyer à l'ouvrage lui-même ; le lecteur y puisera certainement une vive admiration et un réel amour pour les abeilles mystérieuses. Et ce sera, je gage, pour l'auteur, la récompense la plus appréciée.

R. Lange, S. J.

XXV

1. Les problèmes de la philosophie et leur enchaînement scientifique. Le donné et l'objectif, par Paul Dupont, ancien élève de l'École Polytechnique. Un vol. in-8° de vi-386 pp. Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Félix Alcan, 1920.

2. Psychologie du raisonnement, par Eugenio Rignano, Directeur de la revue internationale Scientia. Un vol. in-8° de xi-544 pp. Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Félix Alcan, 1920.

3. Disputationes metaphysicae de Actu et Potentia, auctore P. Stanislao de Backer, S. I. Un vol. in-8° de 96 pp. — Paris, G. Beauchesne, 1921.

1. M. Paul Dupont — qu'il en ait eu conscience ou non — aborde le problème philosophique dans la préoccupation même

qui inspira jadis, au dire de Kant, la rédaction de la « Critique de la Raison pure » : reprendre intégralement l'examen de nos certitudes, dans l'espoir de constituer enfin, moyennant les éliminations nécessaires, « une philosophie égale en valeur logique aux sciences positives » (p. v) et capable de réaliser sur elle l'accord des esprits. Disons toutefois qu'il y a, entre Kant et M. D., au moins cette différence, que le premier, malgré qu'il eût traversé une période empiriste, demeurait fidèle aux exigences méthodologiques du rationalisme, tandis que M. D., dût-il même avoir traversé le rationalisme — ce que nous ignorons — trahit en tout cas, dans le présent ouvrage, l'état d'âme d'un empiriste tolérant et d'un logisticien précautionneux. On ne s'étonnera donc pas que ses conclusions, matériellement voisines, parfois, de celles de Kant, en diffèrent énormément quant à l'esprit.

L'ouvrage devait être une trilogie : le *donné*, l'*objectif*, le *transcendant*. « La situation actuelle de la librairie française m'oblige à différer la publication d'une troisième partie intitulée *Le Transcendant* » (p. vi). Nous nous contenterons donc d'un diptyque : en son genre, il est de bonne facture.

L'un des panneaux nous détaille, d'un point de vue purement descriptif et phénoménal, l'ensemble du « donné immédiat » de la conscience : donné « objectif phénoménal » (p. 25). Ne voyons ici, selon le vœu de l'auteur, qu'un simple inventaire, qui n'a rien de commun avec la subtile analyse bergsonienne, discernant, parmi les contenus bruts de conscience, des « données immédiates » réellement primitives. Nous songerions plutôt à l'énumération que fit Locke des objets respectifs de la « sensation » et de la « réflexion ». Or donc, relativement à ce donné, *comme donné* (comme phénomène), l'attitude de notre esprit est celle de l'évidence incontestable, et d'ailleurs incontestée. (Nous chicanerions cependant M. D. sur sa notion du « je » empirique).

Le second panneau du diptyque offre plus de complication. On y montre comment nous pouvons passer « du phénomène donné au phénomène attendu » (p. 374), du « je » phénoménal « à la découverte des *soi* » étrangers (ibid.), à l'invention aussi de « l'objectif extérieur » (ibid.), et enfin, comment se pose en nous, inévitablement, « une interrogation sur les limites de la série récurrente universelle » (ibid.). « Telles sont, poursuit M. D., les grandes étapes d'un itinéraire dans lequel nous sommes maintenus par une logique qui, parfaite ou non, est le

seul instrument dont l'emploi, soumis à des règles invariables, ne conduise jamais à des résultats démentis par les faits dans le domaine de ceux-ci » (p. 374). En définitive, l'auteur justifie les extrapolations de l'entendement dans le domaine « objectif » (disons d'un mot : la logique de l'entendement) tant par la nécessité pratique de cette logique pour dépasser les limites étroites du donné pur, que par la réussite même des anticipations qu'elle autorise : raisons essentiellement pragmatiques, qui se trouvent revêtir de plus une certaine valeur spéculative grâce à l'application du « calcul des probabilités » à l'interprétation objective du donné.

La critique — pleine de probité — de M. D. marque consciencieusement, à la fois, le prix incontestable et l'irrémédiable insuffisance de ces garanties « probables ». Du reste, déclare-t-il avec insistance, il n'y a point là de quoi s'émouvoir : la certitude spontanée, engendrée en nous par des croyances objectivistes « instinctives », n'a que faire de ces réserves critiques : elles restent l'apanage de ceux que le « doute » frôla de son aile et créa — hélas ! — « philosophes ». « L'immense majorité des hommes ne comprend absolument rien à l'inquiétude philosophique sur l'objectif, et on soulèverait ses dénégations les plus énergiques si on lui disait qu'elle ne croit à l'existence des hommes et des choses que par des calculs de probabilité et des changements de variables » (p. 375).

Voilà, nous semble-t-il, la quintessence de la « philosophie empirio-logique » que prône M. D. Ne faut-il pas un peu d'optimisme pour espérer que, telle quelle, même sous l'égide du « calcul des probabilités », elle se fera recevoir partout sur le pied d'une « science positive » ?

Après cela, l'auteur, qui n'a rien d'un fanatique, tire une révérence courtoise aux philosophes qui croient pouvoir dépasser le niveau modeste de « l'empirio-logique » : « Peut-être certains hommes supérieurs possèdent-ils d'autres moyens d'étendre leurs connaissances et, par suite, d'autres connaissances. Nous ne savons rien de l'entendement des autres que ce qu'ils nous en disent ; nous n'accepterions pas qu'ils prétendent savoir mieux que nous ce que nous avons dans l'esprit ; nous ne pouvons avoir la prétention réciproque. Si les Scolastiques possèdent une faculté qui leur *donne,* comme ils disent, l'essence des choses et les lois nécessaires et universelles de ces essences, comme notre sensibilité nous *donne* les faits particuliers [M. D. veuille croire que peu de Scolastiques souscriraient cette for-

mule] ; si quelques intelligences d'élite, par un violent effort sur elles-mêmes, acquièrent l'intuition d'un donné qui m'échappe, si les mystiques et les gnostiques voient plus loin que tous les autres, leurs connaissances peuvent dépasser les miennes d'une quantité inconnue, mais elles ne me seront pas transmissibles » (pp. 379-380). Peut-on conjecturer, d'après ceci, quelle position prendrait M. D. dans le problème du « transcendant » ?

La principale objection que nous ferions à la tentative de l'auteur, c'est encore d'être trop radicale et de n'avoir pas assez tenu compte des enseignements de l'histoire de la philosophie. Pour être vraiment utile, un travail de critique de la connaissance, s'il n'est d'exceptionnelle originalité, doit indiquer nettement ce qu'il emprunte à la tradition et ce qu'il y ajoute. Sinon, l'on s'expose à enfoncer des portes ouvertes, ou, ce qui est plus grave, à s'imaginer ouvrir, en les poussant du petit doigt, des portes dès longtemps fermées. M. D., selon nous, n'évite pas toujours ce double inconvénient, en dépit du talent et de la sincérité que nous reconnaissons volontiers à sa récente étude.

2. Malgré les réserves graves qu'appelle, selon nous, tant au point de vue philosophique qu'au point de vue religieux, le livre de M. Eugenio Rignano sur la *Psychologie du raisonnement,* nous ne voudrions pas en méconnaître le sérieux intérêt et la richesse d'analyse. D'inspiration strictement positiviste, il se recommande néanmoins — nous disons : néanmoins, tant ce mérite est rare dans les ouvrages de même tendance — par une unité synthétique assez large, qui déborde même le cadre du sujet formellement traité : ce qu'on nous offre, c'est, au fond, une psychologie générale de la connaissance, rattachée aux conditions de l'activité biologique comme telle. Et ainsi, le présent ouvrage se place dans le prolongement des travaux consacrés par le même auteur aux problèmes de la vie organique.

M. R. s'est efforcé d'établir ailleurs l'existence, en tout être vivant, d'une finalité active, conservatrice et adaptative, à laquelle il donne le nom collectif de « tendances affectives ». (Ne pas les confondre avec l'émotion, « qui n'est que le contre-coup d'une réalisation trop rapide et trop intense de la tendance affective elle-même », p. 32). Ces tendances « affectives » ne font qu'exprimer, à des degrés divers, la nature « mnémonique » de l'être vivant, c'est-à-dire la propriété qu'il possède d'accumuler en lui des états déjà vécus et de les restaurer activement.

Laissons l'auteur résumer en peu de mots l'application de ces

notions au problème du raisonnement : « L'analyse de cette faculté suprême de l'intelligence, qu'est le raisonnement, nous a amené à constater qu'il est constitué tout entier, en définitive, par le jeu réciproque des deux activités fondamentales et primordiales de notre psyché : les activités intellectives et les activités affectives, les premières consistant dans la simple évocation mnémonique de perceptions ou d'images du passé, les secondes se manifestant comme des tendances ou aspirations de notre esprit vers une fin donnée à atteindre, vers laquelle est dirigé le raisonnement lui-même » (p. 531).

« Toutes (les) facultés d'attention, de cohérence, de critique, d'imagination, de classification et d'abstraction, qui, de ses formes intuitives primordiales, élèvent peu à peu le raisonnement jusqu'aux plus hautes déductions de la science, se sont révélées à notre analyse comme ayant toutes un substratum de nature affective » (p. 532). N'oublions pas qu'*affectivité* signifie ici ce que la plupart des philosophes classiques appelaient *appétitivité* (soit « naturelle », soit « élicite »). M. R. montre le rôle décisif de cet élément tendanciel, non seulement dans l'association et l'élimination de représentations simples, mais dans le raisonnement proprement dit, « concret » ou « abstrait ».

Comme les étages du « raisonnement abstrait » se superposent d'après la généralité croissante des concepts mis en œuvre, M. R. devait rencontrer, au sommet de la faculté de raisonner, le « symbolisme mathématique ». Les trois chapitres consacrés au raisonnement mathématique, ne sont pas les moins intéressants du volume. Enfin, au degré suprême d'indétermination ou d'abstraction, c'est-à-dire aussi loin que possible de toute intuition vivifiante, se développe l'Algèbre de la Logique, la Logistique. Mais celle-ci paye la rançon de sa généralité même, par sa stérilité dans le domaine de l'invention : « Lorsque l'abstraction dépasse une certaine limite,... les avantages que l'on a toujours en passant d'un raisonnement concret et particulier à un raisonnement plus abstrait et plus général... viennent à cesser » (p. 279). « Si la Logistique, en tant que système de transcription sténo-idéographique internationale, a atteint le but qu'on s'était proposé, et si, en tant que système de contrôle de la rigueur logique, elle peut être parfois utile, elle est au contraire condamnée, comme moyen de découverte, à la stérilité la plus complète » (p. 281).

Le « raisonnement » dont l'auteur vient de poursuivre l'étude jusqu'en ses formes supérieures, est, dit-il, le vrai raisonnement,

le raisonnement extensif et « constructeur » ; mais l'humanité pratique une autre espèce de raisonnement « laquelle représente *psychologiquement* une déviation, une déformation » de la première. « Plus qu'à construire de nouvelles combinaisons d'expériences et à tendre par là à la découverte de nouveaux faits, cette forme dérivée et déformée du raisonnement vise plutôt à classifier, à « présenter » des faits connus, d'une certaine façon plutôt que d'une autre. C'est le raisonnement *intentionnel* » (p. 283). L'auteur essaye de montrer « qu'est pareillement d'origine affective la déformation que subit le raisonnement quand, de sa forme constructive et créatrice, il passe à la forme intentionnelle, purement classificatrice, et la plupart du temps stérile, dont les plus typiques manifestations sont le raisonnement *dialectique* et le raisonnement *métaphysique* » (p. 532). Avouons ingénument que le chapitre XI, où l'on traite du « raisonnement métaphysique », expression d'un besoin religieux atavique, nous paraît extraordinairement pauvre au point de vue philosophique et témoigne d'une ignorance des doctrines et des tendances religieuses impardonnable chez qui prétend en instituer la critique.

« Nous avons vu ensuite, poursuit l'auteur, dans ses *Conclusions,* l'influence qu'ont les tendances affectives dans la détermination des diverses formes de mentalité logique. Nous avons vu, enfin, que même les formes pathologiques du raisonnement sont dues, elles aussi, à des causes de nature purement affective. L'activité affective nous apparaît donc comme imprégnant toutes les manifestations de notre pensée » (p. 532).

« De là vient, conclut M. R., la tragique et éternelle opposition entre notre vie intérieure, tout imprégnée de finalisme, qui sent que ce finalisme est la chair de sa chair et le sang de son sang, et le monde extérieur inanimé, qui, si anxieusement qu'on l'ait scruté durant des siècles et des siècles, ne nous semble mû, au contraire, par aucune finalité. Et cette tragique et éternelle opposition entre le microcosme essentiellement finaliste et le macrocosme purement mécanique, c'est elle qui constitue le substratum profond de la lutte plus que millénaire entre la science et la religion, la première contrainte par la raison fondée sur les faits à dénier à l'univers une finalité, la seconde, par contre, irrésistiblement poussée à l'affirmer par les plus intimes fibres du sentiment. Cette opposition entre la raison et le sentiment n'aura peut-être jamais de fin, à moins que l'homme ne se résigne à chercher, non plus dans l'univers entier, mais dans le

cercle plus restreint du seul monde de la vie, avec lequel il a communauté d'origine et de nature, la raison dernière de sa conduite, la finalité suprême de son existence » (p. 536).

Ceci doit s'entendre dans le sens de l'évolutionnisme biologique le plus rigoureux : chez l'homme, parce qu'il est « au sommet de l'évolution organique, bat plus fort et plus conscient le rythme de la vie » (p. 536). Le secret de la valeur subjective et des réussites objectives du raisonnement gît donc, d'après M. R., dans la finalité élémentaire qui commande cette ligne évolutive.

Pour les traits essentiels, la psychologie générale de M. R. ne présente rien qui ne se rencontre déjà, fût-ce à l'état d'esquisse ou de notation rapide, chez ce merveilleux analyste que fut Hume, ou bien chez le codificateur du positivisme évolutionniste, H. Spencer. Il est intéressant toutefois que soit souligné si expressément par M. R. le rôle primordial de la finalité active dans la connaissance : si l'ingénieux publiciste n'était protégé contre toute défaillance par le daltonisme particulier à l'esprit empiriste, nous concevrions même quelque crainte — ou, si l'on veut, quelque espoir — de le voir entraîné peu à peu, par l'étude de la finalité, hors de l'orthodoxie positiviste. Mais daignera-t-il s'apercevoir à quel point son enquête (d'ailleurs intéressante) sur les opérations supérieures de la pensée réussit à ignorer ou à méconnaître des problèmes comme ceux de la réflexion psychologique, de l'objectivation des données, de l'affirmation judicative, de la conscience explicite de l'universel, de la nécessité rationnelle objective, des valeurs logiques et morales, etc.? Certes, l'idée de finalité, appliquée à l'étude de la connaissance, peut donner la clef de ces problèmes, mais il s'agirait alors d'une finalité élargie, enveloppant comme cas particulier ce finalisme encore imparfait, que l'auteur adopte dans le domaine biologique.

3. La métaphysique pure s'écarte trop de l'objet de cette Revue pour qu'il nous soit permis de présenter longuement le petit volume du R. P. de Backer. Destiné avant tout aux étudiants en Philosophie scolastique, il fait suite à l'étude récente du même auteur « De ente communi », enrichissant ainsi une série déjà longue et point encore close. Il ne dément pas la réputation de clarté et de sobriété de ses devanciers. Le fond de la doctrine, qu'on y trouve exposée d'une plume très sûre, est fidèlement thomiste. Aux théoriciens de la science, qui s'aventurèrent plus d'une fois, ces derniers temps, sur le terrain des « essences »

et des « possibles », on recommanderait volontiers la « Disputatio secunda de Possibilibus » : ils y apprendraient, ce qu'ils paraissent unanimement ignorer, qu'il n'est point permis de confondre la Scolastique tout court avec la Scolastique ontologiste, et moins encore avec le Cartésianisme scolastique de Leibniz-Wolff.

J. Maréchal, S. J.

XXVI

Le mouvement biologique en Europe, par Georges Bohn. Un vol. in 12, 144 pages. — Paris, Colin, 1921.

M. Georges Bohn, Directeur de laboratoire à la Sorbonne, est connu surtout par ses travaux sur la psychologie animale. Chargé, en 1913, d'une mission officielle d'étude dans les principaux centres biologiques européens, il juge bon de publier aujourd'hui, encadrées de quelques impressions de voyage, les réflexions générales que lui inspirent les « tendances nouvelles de la biologie ». Ces notations rapides ne manquent pas d'intérêt, encore qu'elles ne doivent pas apprendre grand'chose au biologiste de profession. A ce dernier, elles paraîtront avant tout un plaidoyer — un peu tumultueux — en faveur d'une conception méthodologique, bonne en principe, mais encore insuffisamment mûrie. L'auteur pousse jusqu'à la phobie la méfiance envers tout vitalisme, ou, plus généralement encore, envers tout finalisme. Et il professe une horreur amusante pour le conservatisme scientifique et pour la spécialisation elle-même. Nous ne sommes pas bien sûr qu'il ne confonde parfois routine et tradition : « Si la discipline renforce l'esprit de logique, elle tue au contraire l'esprit d'invention. Les savants doivent, non seulement avoir le sens critique, mais encore être des indépendants, des émancipés, des révoltés..., aspirer de toutes les façons à la liberté » (p. 142). Peut-être est-ce « aller un peu fort », et les vues justes, qui ne sont point tellement rares dans ce petit livre, gagneraient elles à un contexte plus tempéré. « In medio virtus. »

J. Maréchal, S. J.

XXVII

Le rôle des sciences dans l'éducation, par René Paucot, ancien élève de l'École Normale Supérieure, agrégé des Sciences naturelles. Un vol. in-12, 256 pages. — Paris, Colin, 1920.

Tel est le titre d'un nouveau plaidoyer en faveur des sciences

dans l'éducation, plaidoyer qui semble rédigé avec bon sens et modération.

« Il ne s'agit en aucune façon de demander à l'enseignement à ses divers degrés de renoncer à ce qui a fait si longtemps sa valeur et sa force : la culture intellectuelle et philosophique, le goût des idées générales qui élèvent l'âme, la force d'imagination qui crée de nouvelles œuvres, le sens du beau.... En réclamant pour les sciences une place plus grande.... on ne vise pas à écarter les autres disciplines. On désire au contraire collaborer avec elles et tendre ainsi vers les buts éternels et élevés de toute éducation.... » (pp. 248-249).

Que nous offre l'ouvrage ? Un ou deux chapitres d'abord établissant au juste ce qu'on entend par « études scientifiques » ; — puis une dizaine d'autres exposant le rôle des sciences dans la culture physique (III), — dans *l'éveil* intellectuel (IV), — dans la *formation* intellectuelle (V), — dans la *culture* intellectuelle (VI), — dans le développement de l'imagination (VII), — dans l'éducation du goût (VIII), — dans l'acquisition des *habitudes* morales (IX), — dans la genèse des *idées* morales (X), — puis, pour finir, un aperçu d'ensemble sur le rôle des sciences dans l'enseignement primaire (XI), secondaire (XII), et supérieur (XIII).

On le voit, c'est bien et uniquement le rôle *éducatif* qui, ici, vient en discussion, la question utilitaire se trouvant reléguée à l'arrière-plan. La formation progressive des facultés diffère totalement de l'acquisition des connaissances ; et ces deux estimables personnes, tout en ayant permission, souvent, de marcher la main dans la main, ont cependant à rester nettement hiérarchisées, tout au moins dans tel ou tel degré de l'enseignement. M. Paucot connaît cette règle souveraine ; il n'a garde d'y contredire : ce qui précède le donne à entendre.

Son travail intéressera la majorité des lecteurs instruits ; il les intéressera surtout par plusieurs de ses derniers chapitres. Mieux qu'une analyse, un court sommaire de leur contenu servira d'exemple en renseignant sur la manière de l'auteur.

Peut-on, se demande-t-il au chapitre IX, regarder l'étude des sciences comme favorisant l'acquisition *d'habitudes* morales ? — La réponse est nettement affirmative. Les sciences d'observation sont une véritable « école de sincérité », — c'est l'idée développée jadis par Claude Bernard et H. Poincaré. — De plus, le travail de laboratoire, lui, est une « école de modestie », car

« à chaque instant l'expérience donne à l'expérimentateur la conscience de son ignorance relative et absolue » (Cl. Bernard). Au surplus, en parcourant l'histoire même des sciences n'y trouve-t-on pas à tout instant des « modèles d'abnégation humble et modeste, de vies consacrées entièrement au dévouement et à la recherche sans autre souci que l'intérêt du prochain ou de la vérité et souvent sans qu'il y ait même l'espoir d'être récompensé par la gratitude ou la notoriété » ?

Autre question : l'étude des sciences, bien conduite, est-elle de nature à favoriser l'éclosion de certaines *idées* morales ? (ch. X). — Ici encore, et on s'y attendait, la réponse est affirmative ; et, ici encore, elle s'étaie de citations empruntées à Claude Bernard et à H. Poincaré. — Est-ce que l'enfant, en ayant sous les yeux continuellement la Nature, ne reçoit pas d'elle, continuellement aussi, la grande leçon du travail ? est-ce qu'il n'apprend pas d'elle que l'exercice développe l'organe, le repos prolongé l'atrophie ? — Est-ce que la science n'est pas essentiellement une œuvre collective bien propre à accentuer dans les esprits l'idée de solidarité humaine, de coopération nécessaire entre nous et nos contemporains, même entre nous et nos devanciers ou nos successeurs ? — Est-ce qu'en inclinant l'esprit vers la recherche désintéressée, les sciences ne l'élèvent pas, « le préparant ainsi à mettre ses facultés au service des causes qui lui sembleront nobles et justes » ?

Ne peut-on même affirmer que l'étude des sciences est susceptible de contribuer à la formation du goût ? Cette étude ne nous place-t-elle pas continuellement en face du spectacle « de la beauté des êtres vivants » ? et quoi de plus accessible aux esprits même les plus jeunes ? — D'un autre côté, ne peut-on soutenir qu'il y a aussi une beauté *sui generis*, « beauté des animaux bien adaptés », jusque dans certaines machines créées par le génie de l'homme ? — Peut-on commencer à étudier les sciences physiques sans se trouver frappé par la beauté des synthèses qui s'y rencontrent ? — Quant aux sévères mathématiques, « il n'y a pas *que* l'exactitude et la rigueur qui, chez elles, fassent la valeur d'une solution ; même dans les problèmes élémentaires intervient un autre facteur qu'on nomme l'*élégance*... L'élégance est faite surtout de clarté, de concision, d'aisance ; les solutions les meilleures à ce point de vue sont celles qui suivent la ligne la plus directe des prémisses aux conclusions sans digressions pesantes, sans lourdeurs inutiles, — celles qui

savent à propos quitter la route frayée des méthodes générales pour le raccourci ingénieux qui mène droit au but, raccourci qui, facile à suivre une fois trouvé, est parfois le plus difficile à découvrir. — Les solutions élégantes s'imposent, une fois connues, par la satisfaction qu'elles procurent à l'esprit ; elles éclipsent les autres par leur grâce comparable à celle d'un *style approprié....* » (p. 149).

Les chapitres ci-dessus résumés, abondent, on le voit, en aperçus intéressants, parfois en vues originales. D'aucuns ne partageront qu'avec restriction toutes les admirations de l'auteur ; il leur sera difficile pourtant de méconnaître le bien-fondé de beaucoup de ses remarques. C'est dire que l'ouvrage se recommande de lui-même, non seulement aux spécialistes et aux préfets d'études, mais à quconque souhaite voir notre enseignement, — notre enseignement secondaire surtout, — s'adapter de mieux en mieux aux nécessités contemporaines. Suggestif par son fond, il a d'ailleurs cet autre mérite encore d'être écrit d'une plume généralement élégante et facile.

Donc M. Paucot veut faire, dans notre enseignement, la place plus grande aux sciences. Mais comment la veut-il faire, et au détriment de quoi ? C'est l'éternelle et très épineuse question des programmes. A toute introduction nouvelle, répond, par la force même des choses et l'exigence des horaires, quelque élimination soit totale soit partielle. Peut-être n'est-il pas indispensable toujours que la matière nouvellement introduite soit rigoureusement aussi formative que la matière éliminée : mais alors, la chose est niaise d'évidence, le déficit doit se trouver comblé — et au delà — par des avantages de la plus haute valeur.

La modernisation, au sens prôné dans l'ouvrage, présente-t-elle réellement ces « avantages de la plus haute valeur » ? M. Paucot le croit et nombre d'esprits éclairés le croient avec lui ; nombre d'autres se montrent sceptiques à cet égard.

Quant à la susdite question des programmes (un vaste guêpier, comme chacun sait), encore qu'il s'en soit légèrement approché dans son chapitre XII, M. Paucot, très prudemment, n'a eu garde de s'y trop engager. Nous ne pouvons que le louer de cette relative prudence, et l'imiter.

R.

XXVIII

La Physiologie, par Maurice Arthus. — Masson, Paris, 1920.

C'est par ce volume que débute de façon particulièrement heureuse une nouvelle collection qui s'intitule : *Les Sciences d'aujourd'hui. Méthodes, Résultats, Hypothèses.* L'exposé de M. Arthus est en effet un modèle du genre. Adressé à un public cultivé, ce livre ne suppose aucune connaissance préalable en physiologie, et cependant, il rendra les plus grands services aux physiologistes de profession. C'est donc plus qu'une œuvre de vulgarisation ; il en conserve néanmoins quelques traits caractéristiques : la clarté, la lecture agréable et facile.

L'auteur considère d'abord les connaissances acquises par l'observation et, en nous initiant à une série de procédés instrumentaux, il passe en revue ce qu'il appelle « les faits physiques, chimiques, anatomiques, mécaniques, histologiques, psychologiques, vitaux ».

Mais la méthode par excellence en physiologie, c'est l'expérimentation. Et d'abord sur quels animaux expérimenter ? Pour chaque genre de recherches, il existe un animal de choix : le pigeon, par exemple, se prête particulièrement bien à l'étude des canaux semi-circulaires : d'abord, parce que, chez lui, ces organes sont très développés et facilement accessibles, ensuite parce que les troubles de l'équilibre se manifestent de façon intense chez les oiseaux. L'auteur donne de nombreux exemples de l'importance de ce choix.

Les expériences elles-mêmes, malgré leur diversité, peuvent se ramener à quelques types généraux. Il y a d'abord les ablations d'organes : on enlève le pancréas à un animal ; à la suite de cette intervention, on voit apparaître le diabète : il y a donc une relation entre l'activité de cette glande et le métabolisme des hydrates de carbone.

Mais on peut aussi exciter un organe, exciter par exemple le nerf pneumogastrique et observer l'arrêt du cœur ; exciter le bout central du nerf laryngé supérieur et déclancher à chaque excitation un mouvement de déglutition. C'est là un second genre d'expériences, qui fournit des données précieuses. L'auteur illustre de nombreux exemples ces différentes méthodes.

Dans une troisième catégorie, l'auteur groupe ce qu'il appelle les artifices expérimentaux, et c'est ici surtout que l'ingéniosité

des physiologistes peut se donner libre cours : les fistules gastriques, pancréatiques, les greffes, la technique des organes isolés, autant de méthodes extrêmement fécondes.

Ayant rassemblé ces matériaux, il s'agit de les trier, de les coordonner, et de soumettre les diverses interprétations possibles à une critique serrée. Dans un chapitre remarquable, M. Arthus, par quelques exemples « d'analyses expérimentales », nous montre le physiologiste à l'œuvre : « partant d'un fait observé, en donnant la signification, probable ou possible, vérifiant son hypothèse par des expériences convenablement instituées, et progressant d'observations en hypothèses et d'hypothèses en expériences et en observations nouvelles ».

Livre en tout point remarquable, et, répétons-le encore, d'une grande clarté, malgré l'accumulation et la complexité des faits exposés. On ne peut que souhaiter trouver, dans les prochains volumes de la même collection, les autres sciences traitées de façon aussi magistrale.

XXIX

The principles of antenatal and postnatal Child Physiology pure and applied, by W. M. Feldman. — London, Longmans and C°, 1920.

L'auteur a rassemblé les connaissances actuelles concernant la physiologie de l'embryon et du nouveau-né. Ce livre a exigé un travail considérable : nous trouvons là, groupées, des données éparses dans la littérature et de sources diverses : travail d'autant plus méritoire qu'il n'existait aucun traité de physiologie spéciale de l'enfance.

Une première partie traite de la période antéconceptionnelle et conceptionnelle : lois de Mendel, caractères héréditaires. La seconde a trait au développement et à la physiologie du fœtus. L'auteur expose ensuite la physiologie de chacun des grands systèmes (circulation, digestion, etc.) pendant l'enfance et la puberté. Un dernier chapitre est consacré à l'enfant prématuré.

Le livre est clair, bien ordonné. L'auteur cependant ne semble pas toujours avoir soumis ses sources à une critique suffisamment judicieuse. A un moment donné, il fait ce qu'il appelle « une tentative de classification des caractères héréditaires chez l'homme ». Les caractères « type juif » — « type capacité intellectuelle » — « type hystérie » — « type alcoolisme »

— « type chorée » — sont classés comme caractères mendéliens récessifs.

D'autres qualités, tout aussi étranges, sont rassemblées comme mendéliens dominants. La notion « caractère mendélien » en biologie possède une signification précise. N'est-il pas dangereux de mêler ainsi le connu à l'inconnu, à l'indéfini? L'auteur certes parle de « tentative de classification », mais à quels résultats scientifiques ou pratiques peuvent conduire pareilles tentatives? Tout au plus risqueront-elles de jeter le trouble dans l'esprit d'un certain nombre de lecteurs.

Ceci cependant n'est qu'une critique de détails : l'ensemble est excellent et permet de trouver rapidement une foule de renseignements précieux.

XXX

De l'évaluation de l'aptitude physique au service militaire des jeunes sujets, par le Dr Adrien Besson, professeur suppléant à la Faculté libre de Médecine. Un vol. de 75 pages (25 × 16). — Lille, Morel, 1921.

Ayant eu, au cours de la guerre, en sa qualité de médecin-major de 1re classe, l'occasion d'examiner au Conseil de Révision, plus de quinze mille recrues françaises des classes de 1915-16-17-18, le Dr Besson a condensé les résultats de ses recherches sur la taille, le poids et le périmètre thoracique des jeunes gens de 19 à 20 ans, dans une étude des plus intéressantes, riche en déductions pratiques au point de vue de l'aptitude militaire.

La taille moyenne des recrues doit être fixée à 1m699 ; leur poids moyen est de 59 1/2 kgs ; leur périmètre thoracique sous-mamelonnaire, de 87 centimètres. Il est à noter que les moyennes de la taille et du poids des sujets, ajournés pour faiblesse de constitution, sont nettement inférieures à celles des incorporés ; il en est de même pour le chiffre de leur périmètre thoracique qui dépasse à peine 80 cm. L'auteur rencontre dans son travail la plupart des objections faites au relevé du pourtour de la poitrine et démontre qu'en suivant une technique méthodique la Périmétrie donne des résultats très précis.

Il étudie dans la seconde partie de son travail l'indice de Robusticité qui, suivant l'ingénieuse formule du médecin-major Pignet, peut se déduire des trois chiffres anthropomé-

triques ci-dessus (Taille — (Poids + Périmètre) = Indice) et il établit la valeur pratique et scientifique de ce critérium de la vigueur constitutionnelle ; quelques corrections à lui apporter dans certains cas individuels n'enlèvent rien aux mérites de la méthode ; toutefois, l'Indice de Robusticité ne devra jamais être qu'un moyen de contrôle de l'examen médical ; il ne pourra ni précéder, ni remplacer celui-ci.

L'étude remarquable et consciencieuse du Dr Besson fournit une contribution scientifique de haut intérêt tant au point de vue du recrutement militaire que de l'anthropologie métrique.

Dr Vervaeck.

XXXI

Problèmes sociaux du travail industriel, par Max Turmann. Un volume in-8°, 240 pp. — Paris, Gabalda, 1921.

M. Max Turmann passe en revue dans cet ouvrage les principaux problèmes sociaux qui préoccupent actuellement l'opinion : La limitation progressive de la journée de travail. — Le sursalaire familial. — La part du travail dans la gestion des entreprises. — La législation internationale du travail.

Il donne de chacune de ces questions un historique succinct ; il précise les diverses données qui y interviennent et signale les solutions adoptées.

V. F.

XXXII

Le Travail industriel aux États-Unis. Rapports de la Mission d'Enquête publiés par le Ministère de l'Industrie, du Travail et du Ravitaillement. Tome I, 490 pages. Tome II, 900 pages, in-4°. — Bruxelles, Lesigne, 1920.

En 1918, M. le baron de Broqueville, Ministre des Affaires Économiques, envoyait MM. Steels, Professeur à l'Université de Gand ; De Man, Directeur de la Centrale d'éducation ouvrière ; Dr R. Sand, Agrégé à l'Université de Bruxelles ; Stels, Chef d'équipe aux Chemins de fer de l'Etat ; Vandersypen, Ingénieur aux Chemins de fer de l'État ; Van Hecke, Professeur à l'Université de Louvain, en mission aux États-Unis pour y étudier le mouvement connu en Europe sous le nom de Taylorisme, ainsi que les conditions économiques et sociales dans lesquelles ce mouvement a pris naissance.

Les enquêteurs étendirent leurs observations aux différents systèmes d'organisation industrielle qui se rattachent de près ou de loin au Taylorisme. M. le Dr Sand fit en 1918-1919 deux enquêtes aux États-Unis et une en Angleterre ; son rapport, qui remplit tout le second volume, porte sur l'Industrie, la Médecine sociale et l'Éducation, dans ces deux pays.

Les auteurs ont eu soin de distinguer les conclusions sur lesquelles l'accord s'est fait entre eux et celles qui répondent aux vues personnelles de chacun.

Leur travail, copieux et substantiel, offre aux sociologues, aux industriels et aux législateurs une mine d'informations extrêmement suggestives.

V. F.

XXXIII

Les peuples d'Extrême-Orient. La Chine, par Emile Hovelaque. Un vol. in-8° de 286 pp. Bibliothèque de Philosophie scientifique. — Paris, Flammarion, 1920.

Après la lecture de ce livre palpitant d'intérêt, bourré de faits, parsemé de renseignements nouveaux, débordant, un peu partout, d'idées suggestives et parfois audacieuses, on éprouve le regret très sincère de devoir restreindre l'éloge par les réserves qu'appellent impérieusement les opinions de l'auteur en matière de religion. Parlant merveilleusement bien de choses qu'il connaît pour les avoir vues, ayant le don rarissime de les évoquer avec une incomparable magie des couleurs, pourquoi M. Hovelaque s'aventure-t-il sur des terrains où il ne peut plus que s'égarer à la suite d'autrui ? Quand on est une voix, pourquoi vouloir n'être qu'un écho pour répéter les assertions discutables des « Philosophies de la religion » sur « le pur idéalisme oriental » de Jésus, se déformant au contact du génie occidental et européen ? M. Hovelaque qui a l'honneur, aujourd'hui plus grand que jamais, d'être Français se doute-t-il que ce « pur idéalisme oriental » de Jésus pourrait bien n'être qu'une déformation systématique du message de Jésus, éclose dans le cerveau fumeux de quelque protestant rationaliste d'Outre-Rhin? Rien que par son « Universalisme », l'idéalisme de Jésus exclut tout caractère local et particulariste et on ne conçoit pas sans doute que sa religion soit autre chose qu'un pur idéalisme, dès lors que toute religion n'est que l'élan de l'esprit transcendant d'un coup d'aile la nature et l'humanité. Si la religion chinoise

par exemple est telle que la décrit M. Hovelaque « tout humaine, » sans métaphysique, sans mystique, sans église, ni prêtres » autres que le père de famille, sans autre Dieu que l'humanité, » sans ciel ni enfer, trouvant sur la terre et dans la vie son » principe, ses fins, ses sanctions et ses récompenses » (p. 130), la question se posera de savoir si lui donner ce nom peut être autre chose qu'un simple abus des mots. Je regrette qu'en matière si délicate l'auteur ait subi l'influence de la maison où il reçoit l'hospitalité. Regret d'autant plus vif que M. Hovelaque paraît tout l'opposé d'un sectaire. Il ose heurter de front le préjugé courant et réformer les jugements injustes de la haine. Il est quelquefois sincère jusqu'à l'imprudence.

M. Hovelaque fait par exemple du « zèle intelligent » des missionnaires jésuites un éloge (p. 200), que leur modestie jugera excessif et qui est de nature à leur procurer quelques nouveaux ennemis. Ce seul panégyrique prouverait au besoin qu'il n'ignore rien du passé de la Chine et de ses relations avec les « diables d'Occident », missionnaires, voyageurs, marchands. Je me hâte d'ajouter qu'il n'ignore rien non plus de la Chine nouvelle, qui vient de se couper la tresse et qui a chassé l'étranger mandchou au cri de : « La Chine aux Chinois ! » Cette science parfaite de son sujet permet à l'auteur de conjecturer son avenir probable : un équilibre « entre l'ordre ancien périmé et les menaçantes folies des rêves nouveaux » dont le bolchevisme est la hideuse expression. Je souhaite que M. Hovelaque soit mauvais prophète, mais je constate que nos journaux parlaient hier d'une alliance entre la Chine et la Russie des Soviets. Si la Chine vous intéresse, prenez en mains le volume de M. Hovelaque ; elle y est tout entière, avec sa vie énorme et grouillante, ses usages millénaires, ses rites immuables, son culte de la terre et des ancêtres, son art subtil et précieux, sa politesse et sa cruauté également raffinées, ses accès de xénophobie chronique rappelant ceux du fanatisme musulman. La vieille âme chinoise semble avoir livré son secret à l'auteur de ces pages pittoresques où les tableaux de mœurs alternent avec les vues philosophiques qui appellent la contradiction en laissant entière la sympathie pour l'écrivain. M. Hovelaque est séduisant. Il s'attache le lecteur, parce qu'il sait l'art de composer un livre. Je ne puis que condamner les idées de M. Hovelaque sur « les religions » ; elles sont pour le moins discutables et, sans doute, d'emprunt.

Mais, ces réserves faites, je souscris volontiers au jugement porté par M. Henry de Varigny, le chroniqueur scientifique du JOURNAL DES DÉBATS (17 février 1921) sur l'œuvre de M. Hovelaque : « livre tout à fait remarquable... et qui est un des ouvrages hors pair sur le sujet », oui, hors pair et intéressant comme la « Bibliothèque des voyages » et les récits du « Voyageur français ».

F. X. JANSEN, S. J.

REVUE
DES RECUEILS PÉRIODIQUES

GÉOLOGIE

Il n'est peut-être pas de domaine dans les sciences où les publications aient été plus atteintes par les difficultés actuelles que celui des sciences naturelles, et en particulier de la géologie. La nécessité de réduire dans les périodiques la figuration, et surtout les planches, a nui à la documentation des études qui y paraissent, et par suite à leur importance, sinon à leur intérêt. D'autre part beaucoup de géologues ont vu leurs recherches entravées par la guerre et par les obstacles qu'elle a mis, et qui subsistent encore, à la libre circulation. Aussi la publication a-t-elle pris souvent un caractère fragmentaire, morcelée en une infinité de courtes notes, où il y a parfois plus d'affirmations posées que de preuves apportées, et sur lesquelles il est difficile de fonder des conclusions d'une portée suffisante pour les introduire dans la science. Aussi, en attendant des temps meilleurs pour la géologie, nous nous bornerons dans cette Revue à analyser parmi les études parues dans les divers périodiques, celles qui ont une portée générale par le genre des questions qu'elles abordent : *problème de la dolomie*, *structure des calcaires zoogènes*, *application de la micrographie et de la chimie à l'étude des terrains sédimentaires*. — Nous serons aussi amenés, pour exposer ces questions, à faire état de travaux publiés pendant la grande guerre, ou à la veille, et qui, à cause de cela, n'ont pu être suffisamment signalés et connus.

Le problème de la *dolomitisation* est un de ceux qui ont le plus exercé la sagacité des géologues. La dolomie, carbonate double de chaux et de magnésie, tient une place considérable dans certaines formations géologiques. Ainsi dans le *Carbonifère inférieur*, en Belgique et dans le Sud-Ouest de l'Angleterre, les

calcaires sont dolomitisés sur des épaisseurs qui peuvent atteindre 200 mètres et parfois davantage. Ces dolomies forment à l'Est de Namur, notamment à Marche-les-Dames et à Sclaigneaux, des falaises hautes de 50 à 60 mètres ; elles ont été entaillées de toutes parts par les eaux qui, s'infiltrant le long des fissures verticales, les ont sculptées en multiples colonnes et leur ont donné les aspects ruiniformes qui rendent si pittoresque cette partie de la vallée de la Meuse. Dans le Sud-Ouest de l'Angleterre, c'est au Nord de Bristol que le Carbonifère est surtout dolomitisé, tout le long d'une bande qui partant de la Forêt de Dean se dirige d'Est en Ouest, par le Nord de Cardiff, puis de Swansea, vers les côtes du Pembrokeshire. En Angleterre et en Belgique, la masse des dolomies diminue d'épaisseur dans le Carbonifère quand on va du Nord vers le Sud. — Le *Permien*, désigné en Angleterre sous le nom de *Magnesian limestone*, à cause des dolomies qui s'y rencontrent, en renferme également dans les Vosges (où elles sont exploitées à Robache, près Saint-Dié), en Saxe et en Thuringe. — Le *Trias* est non seulement l'étage du sel gemme et du gypse, il est aussi celui de la dolomie, cargneules dans les régions à facies lagunaire de l'Ouest de l'Europe, dolomies massives dans les Alpes, où elles constituent aux environs de Bozen ces majestueux escarpements et ces reliefs tourmentés des *Dolomiten*, qui au Schlern et au Langkofl atteignent 1000 mètres d'épaisseur. — Le *Jurassique supérieur* des Causses, celui du Jura, sont également affectés par la dolomitisation.

La plupart des auteurs admettent que les dolomies sont dues à la transformation de roches primitivement calcaires. Mais où les opinions sont partagées, c'est quand il s'agit de savoir quelle est l'origine des sels de magnésie et de quelle manière s'est effectuée l'imprégnation des calcaires par la magnésie. — Pour les uns, — c'est l'opinion qui prédomine chez les auteurs anciens, — les émanations magnésiennes ont une origine volcanique, soit qu'elles proviennent directement des colonnes de vapeurs de magmas éruptifs voisins, soit qu'elles remontent des profondeurs de l'écorce, véhiculées par les eaux thermales. Cette explication peut rendre compte des faits dans quelques cas, mais elle se heurte à une invraisemblance : il faudrait admettre que les calcaires carbonifères de la région de Namur, par exemple, eussent été imprégnés et transformés en dolomies par les vapeurs magnésiennes sans que les calcaires dévoniens sous-jacents et situés aussi dans la zone d'action de ces colonnes de vapeurs eussent été affectés par elles.

D'autres ont considéré l'enrichissement en carbonate de magnésie comme contemporain des dépôts et effectué par l'eau marine qui baignait les calcaires en voie de formation. « On peut supposer, a écrit J. Gosselet, qu'à certains moments le bassin (où se déposait le calcaire carbonifère) se transformait en un lac amer où le carbonate de magnésie cristallisait et se combinait au carbonate de chaux. » — C'est l'explication que nous avons cru pouvoir appliquer autrefois à la formation des dolomies de Robache, dans le petit bassin de St-Dié, qui sont totalement dépourvues de traces d'organismes.

Cependant on avait depuis longtemps remarqué la haute teneur en sels de magnésie de certains récifs coralligènes actuels, tout au moins dans leurs parties profondes, et établi une relation entre ce fait et l'origine coralligène reconnue des puissantes masses de dolomies d'âge triasique du Tyrol méridional.

Naguère Madame Paul Lemoine, qui s'est attachée, comme on sait, à l'étude des Algues et de leur rôle dans la formation des dépôts calcaires (1) faisait faire un grand progrès à cette conception en démontrant que certaines familles et espèces d'algues actuelles fixent le carbonate de magnésie. Comme par ailleurs le rôle des Algues dans la construction des récifs coralligènes actuels apparaît plus important à mesure qu'on pousse plus avant l'étude détaillée de la vie et du développement de ces récifs, on est amené à admettre qu'elles ont pu être aussi l'agent de fixation de la magnésie dans les récifs triasiques, où l'on constate la présence, en extraordinaire abondance, de *Diplopora* et de *Gyroporella*. La transformation en dolomies des calcaires construits aurait eu lieu, après coup, soit par l'action des eaux d'infiltration remettant les sels de magnésie en circulation dans l'épaisseur des massifs, soit par des échanges moléculaires pareils à ceux qui s'effectuent en milieu colloïdal et qui se seraient produits au moment de la décomposition des tissus organiques. Toujours est-il que le carbonate de magnésie imprègne tout entières certaines parties des massifs calcaires et leur donne en se cristallissant cette texture grenue et cet aspect massif qui sont caractéristiques de la dolomie.

(1) Voir notamment à ce sujet un article où cet auteur faisait en 1911 la mise au point de cette question et résumait l'ensemble de ses propres recherches : *Le rôle des Algues dans la formation des dépôts calcaires.* REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, pp. 645-650 (30 août 1911). Voir aussi BULLETIN DE LA SOC. GÉOL. DE FRANCE, 4e S., XVII, pp. 246-255 (1917) : *État actuel de nos connaisances sur les Corallinacées fossiles.*

Deux géologues américains, F. W. Clarke et W. C. Wheeler, ont publié les résultats de travaux qui orientent définitivement dans cette voie les recherches sur l'origine de la dolomie dans les terrains sédimentaires (1). Ayant procédé à l'analyse chimique d'un grand nombre de squelettes de Crinoïdes actuels, ils constatèrent que ces squelettes contiennent, à côté du carbonate de chaux, dont la quantité naturellement prépondérante varie de 83,47 % à 91,55 %, une proportion de carbonate de magnésie susceptible de s'élever de 7,28 % à 12,69 %. Une aussi forte teneur en magnésie dans le squelette des crinoïdes est un résultat assurément inattendu. MM. Clarke et Wheeler constatèrent aussi que la quantité de magnésie est d'autant plus élevée que les espèces analysées vivent en eaux plus chaudes ; les types recueillis au Nord du Japon et sur les côtes de l'Antarctide fournissent les pourcentages inférieurs à 10, tandis que les teneurs comprises entre 10,09 et 12,69 ont été observées chez les individus récoltés dans le Golfe du Mexique, sur les côtes de Cuba, aux Philippines.

Poursuivant leurs recherches dans la même voie, MM. Clarke et Wheeler ont analysé des squelettes d'oursins, puis d'orphiures et d'étoiles de mer et ont fait des constatations identiques à celles que leur avait déjà fournies l'étude des crinoïdes. Chez les oursins, la proportion de carbonate varie de 5,99 à 13,47 %, suivant les espèces analysées, et chez les étoiles de mer et orphiures de 7,79 à 14,11 % ; chez les uns et les autres, les pourcentages les plus élevés sont obtenus parmi les espèces qui vivent dans les mers chaudes.

On ne peut exagérer l'importance de telles observations en ce qui concerne *l'origine de la magnésie* dans les roches calcaires. Ces résultats suggèrent tout de suite en effet une application au Calcaire carbonifère. Celui-ci contient, en Belgique et en Angleterre, nous l'avons dit plus haut, d'importantes masses de dolomies. Or celles-ci sont principalement développées à des niveaux et dans des régions où les calcaires à crinoïdes constituent l'un des facies les plus largement représentés ; et l'importance de la dolomie diminue au contraire, dans le Bassin de Namur comme dans le Pays de Galles, en allant du Nord vers le Sud, au fur et à mesure que l'on voit les facies vaseux se

(1) *The composition of Crinoïd skeletons* (Dep^t of the Interior, U. S. G. S., prof. paper 90-D Washington, 1914). — *The inorganic constituants of Echinoderms* (id., prof. paper 90-L, Washington, 1915).

substituer peu à peu aux facies crinoïdiques ; de même en s'élevant du Tournaisien au Viséen, la dolomitisation diminue ou disparaît à mesure que les calcaires oolithiques et les calcaires bréchoïdes ou compacts viennent à prédominer. On est naturellement amené à penser, à la suite des constatations faites par MM. Clarke et Wheeler, que les squelettes de crinoïdes si abondants dans le calcaire carbonifère inférieur de ces régions ont fourni pour une bonne part la magnésie qui a transformé les calcaires en dolomies. — Il est vrai que dans le cas que nous examinons ici, le problème de la remise en mouvement de la magnésie et de sa concentration demeure entier : ainsi le calcaire crinoïdique tournaisien reste un calcaire exploitable comme pierre de taille à Écaussines et à Soignies, et sur l'Ourthe, tandis qu'à l'Est et à l'Ouest de Namur il est entièrement dolomitisé, avec des teneurs en magnésie s'élevant à 10,4 et à 15,2 % (1) ; dans la Vallée de la Dendre, le calcaire à encrines est exploité à Maffles tandis qu'en amont il est entièrement transformé en dolomie.

Encore que toute la question n'en soit point résolue, les recherches de MM. Clarke et Wheeler n'en ouvrent pas moins une voie qui peut mener à des découvertes d'un haut intérêt. Les résultats qu'ils ont obtenus, ajoutés aux constatations déjà faites chez les Algues, permettent d'espérer que l'on est en voie de résoudre une des questions importantes du problème de la dolomie : celle de son *origine dans les terrains sédimentaires*. C'est un des services à inscrire à l'actif de la chimie intervenant comme un auxiliaire précieux dans le domaine des recherches géologiques. C'est d'ailleurs également au chimiste-géologue qu'il appartiendra quelque jour d'appliquer les méthodes qui permettront d'élucider l'autre question, celle de la *répartition actuelle de la dolomie dans les terrains sédimentaires*.

C'est encore de la chimie que s'est aidé M. Camerman pour faire son travail sur le *Gisement calcaire et l'Industrie chaufournière du Tournaisis* (2). — L'analyse d'échantillons de calcaires provenant du gisement carbonifère de Tournai révèle

(1) Nous avons obtenu ces proportions dans l'analyse d'échantillons de calcaires dolomitiques avec restes de crinoïdes, prélevés à Marche-les-Dames (à l'Est de Namur). Des échantillons prélevés à des niveaux un peu plus élevés, dans le Viséen, nous ont donné 4,86 et 6,8 % en MgO.

(2) Revue Universelle des Mines, 6me série, II, mars-avril 1919, p. 371. Liége.

d'abord leur forte teneur en *silice :* 10, 18 à 20,15 %, avec deux maxima, l'un de 29,90, l'autre de 38,11 %, sur 23 échantillons examinés de *calcaires compacts ;* 2,68 à 13,08 % avec un maximum de 22,72 % sur 10 échantillons de *calcaires crinoïdiques ;* enfin 11,19 à 16,98 % avec un maximum de 28,62 %, sur 14 échantillons de *calcaires subcrinoïdiques.* Cette silice paraît imprégner assez uniformément le calcaire, notamment le calcaire compact. Elle laisse des résidus de dissolution, parfois exploitables et connus sous le nom de *tripoli de Tournai.* Cette forte proportion de silice se manifeste aussi par le fait connu que les coquilles de Brachiopodes ont été fréquemment silicifiées et demeurent ainsi en saillie sur la tranche des bancs le long des parois des diaclases mises à découvert par l'exploitation ; elle s'accuse enfin par l'existence de concrétions siliceuses appelées *phtanites* qui forment si souvent dans le calcaire de Tournai des cadres ou des bandes minces à structure rubannée. De la présence de cette silice, intimement mélangée au calcaire, résulte que la pierre de Tournai, le calcaire compact surtout, se prête si bien à la fabrication des ciments, qui a pris de ce fait dans le Tournaisis un énorme accroissement.

Si l'on se demande quelle est l'origine de cette silice, on songera d'abord à la chercher dans des squelettes d'organismes, d'autant plus qu'on a démontré qu'il en est ainsi pour la craie, où la même richesse et des concrétions analogues de silice existent. Nous ne parlerons pas des radiolaires, dont la coque est siliceuse mais qui n'ont pas été signalés jusqu'ici dans le calcaire de Tournai ; peut-être des spongiaires (quelques formes que nous avons récoltées dans le calcaire compact de Calonne, près Tournai, peuvent y faire songer), — ou même d'autres groupes d'animaux inférieurs ont fourni leur apport de silice. Dans leurs analyses si pleines d'intérêt sur le test des Échinodermes actuels, MM. Clarke et Wheeler notent aussi des proportions de silice allant depuis 0,05 et 1,57 jusqu'à 2,01 et même 5,83 %. Nous ne prétendons pas que la silice des calcaires de Tournai provienne des squelettes de crinoïdes, encore que leurs restes soient assez abondants dans toute la moitié Nord du Tournaisis, mais seulement poser le problème et en marquer l'intérêt.

Outre la définition plus exacte au point de vue lithologique qu'il a pu donner des variétés de calcaires de Tournai, M. Camerman a pu s'aider aussi de ses analyses, multipliées et généralisées pour certains niveaux, pour tenter de reconnaître et de suivre

les assises qui se succèdent de bas en haut dans le gisement tournaisien. Cette méthode de classification a de la valeur, appliquée à une région aussi limitée, et elle est en particulier très utile pour orienter l'exploitation. — Elle permet également à M. Camerman de suivre dans leur détail le parcours des failles, de préciser l'importance de leur rejet : c'est ce qu'il a pu faire pour les failles principales, déjà connues, qui encadrent au Nord et au Sud le gisement carbonifère de Tournai ; il en a de plus signalé d'autres, moins importantes, situées plus au centre. Ces résultats sont consignés sur une excellente carte d'ensemble.

Les exemples que nous venons d'analyser montrent quels progrès la science géologique peut attendre d'un emploi plus étendu de l'analyse chimique, appliquée aux organismes actuels ou aux dépôts anciens. Les travaux récemment effectués sur les roches sédimentaires et en particulier sur les *calcaires zoogènes*, étudiés à la fois par le microscope et en s'aidant des méthodes de la microchimie, ouvrent un chapitre peut-être plus vaste encore : c'est tout le problème du mode de formation des terrains sédimentaires qui s'en trouve une fois de plus renouvelé et amplifié.

On sait comment l'emploi du microscope polarisant a renouvelé l'étude des roches cristallines. Les travaux de Fouqué et Michel-Lévy, continués par ceux de M. A. Lacroix, sont à la base des idées qui ont cours aujourd'hui sur les phénomènes du métamorphisme. Ce sont les mêmes méthodes, combinées avec les ressources qu'offre la chimie, qu'appliquait L. Cayeux dès son premier travail paru en 1897 sous le titre : *Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires* (1), lequel marqua en France une date dans cet ordre de recherches, — qui mises en œuvre persévéramment depuis cette époque, en particulier dans l'examen des minerais de fer oolithiques, ont permis au même auteur de nous donner récemment une *Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires* (2). Nous ne pouvions pas ne point citer cette œuvre avant d'analyser des travaux parus ailleurs et dus à d'autres savants, mais qui s'y rattachent : là se trouvent en effet exposés les méthodes suivies, les perfectionnements qui y furent apportés, les résultats nouveaux acquis par vingt ans de labeur. Aucun de ceux qui vou-

(1) Mémoires de la Société géologique du Nord, tome IV, 1877. Lille.

(2) Ministère des Travaux publics. Mémoires pour servir à l'explication de la Carte géologique détaillée de la France ; 1 vol. Texte, 524 p. ; un Atlas de 56 pl. ; Impr. nat. Paris, 1916.

dront travailler dans cette voie ne pourra le faire sans s'être mis d'abord à cette école.

De même devons-nous mentionner ici le Mémoire publié par M. J. de Lapparent : *Étude lithologique des terrains crétacés de la région d'Hendaye* (1) qui n'a point paru dans un périodique, mais auquel se trouvent étroitement rattachées par leur objet deux autres études du même auteur sur des formations du crétacé supérieur des Pyrénées, parues l'année dernière dans le Bulletin de la Société géologique de France (2). C'est une des premières monographies de ce genre qui paraisse. M. de Lapparent décrit les espèces minéralogiques qu'il rencontre dans ces roches, les transformations qui se sont opérées dans le temps même qu'elles étaient en voie de formation. Dans un paragraphe consacré à *l'origine de la silice,* il montre comment les organismes interviennent pour la fixer : « Ces traînées siliceuses des dalles, nous les avons rapprochées de matières organiques, en particulier de fucoïdes en voie de décomposition : ne vient-il pas à l'esprit que ce sont précisément ces fucoïdes qui primitivement fixées sur des roches micacées les ont attaquées et décomposées, libérant ainsi la silice bientôt fixée dans le mucus de leur matière en décomposition, et des sels de fer et de magnésie qui, réagissant en présence de matériaux calciques sur l'acide carbonique produit par la putréfaction des algues, ont provoqué la cristallisation de ces petits rhomboèdres de carbonates ferrifères dont nous avons eu si fréquemment l'occasion d'observer les rapports avec les traînées siliceuses ? » (p. 130). — Il s'arrête aussi en particulier sur les facies bréchiques et montre par des analyses délicates appuyées sur de belles coupes la grande place qu'y tiennent les calcaires à *Lagena* et à *Rosalina.*

L'examen des calcaires carbonifères de l'Angleterre a révélé des faits analogues. Examinant les calcaires noduleux désignés par les géologues anglais sous le nom de *concretionary-beds* et qui se trouvent dans le Viséen supérieur, à un niveau correspondant

(1) Ministère des Travaux publics. Mémoires pour servir à l'explication de la Carte géologique détaillée de la France ; 1 vol. 155 p., VI pl. Impr. nat. Paris, 1918.

(2) J. de Lapparent, *Les formations bréchiques entre les villages de Salles et de Sère-Argelès et au N. du village de Boô* (H.-P.), B. S. G. F. 4e sér. XIX, p. 92; *Grès, calcaires bréchiques et conglomérats d'Urcuit* (Basses-Pyrénées, B. de l'Adour), *ibid.*, p. 295 ; 1919 (paru en 1920).

à celui de la *grande brèche* du bassin de Namur, S. H. Reynolds (1) y a découvert une structure organogène, due à la présence d'Algues appartenant aux genres *Mitcheldeania* et *Spongiostroma* déjà connus ; d'autres bancs de la base du Viséen doivent de même leur structure pisolithique à des Algues ; d'autres Algues enfin, *Ortonella* et *Solenopora* contribuent à la formation de calcaires de la base du Tournaisien. — Ce sont des observations du même genre qu'avait déjà faites E. J. Garwood dans ses recherches sur le Calcaire carbonifère inférieur du Nord-Ouest de l'Angleterre parues en 1912 (2), où il décrivait et figurait des coupes de roches dont la trame est constituée par des *Solenopora*, et d'autres pétrées de *Calcispherae*, ces derniers organismes énigmatiques dont on ne sait encore s'ils étaient des foraminifères ou des radiolaires qui auraient été épigénisés par la calcite (3). Le même géologue avait d'ailleurs trouvé dans le carbonifère du Westmorland et décrit en 1914 (4) des espèces nouvelles d'Algues appartenant aux genres *Ortonella* et *Mitcheldeania*, et le genre nouveau *Aphralysia*. Les recherches de S. H. Reynolds dans le Sud-Ouest de l'Angleterre sont étroitement apparentées à celles de E. J. Garwood dans le Nord, et conduisent aux mêmes constatations sur la place importante que tiennent les Algues dans la formation des calcaires carbonifères de ce pays.

Traitant d'un terrain beaucoup plus récent, le Pliocène de Calabre et de Sicile, Mme Paul Lemoine en étudie dans une note récente les Corallinacées fossiles (5) ; c'est une suite aux nombreux travaux déjà publiés par l'auteur sur le sujet, et en parti-

(1) S. H. Reynolds, *The lithological succession of the carboniferous limestone (Avenion) in the Avon section at Clifton, Bristol* (Abst. of the Proceed. of the Geol. Soc. of London, n° 1063, p. 28, Jan. 13th 1921).

(2) E. J. Garwood, *The lower carboniferous succession in the North-West of England* ; Q. J. G. S., LXVIII, 1912, pp. 449-586, et pl. XLIV-LVI.

(3) La ressemblance qu'offrent des calcaires à *Calcisphera* examinés par E. J. Garwood avec certaines coupes de calcaires à *Lagena* figurés par J. de Lapparent (*op. cit.*), ferait admettre plutôt une analogie entre les deux espèces d'organismes et renforcerait l'idée que les *Calcisphera* de Garwood seraient des foraminifères. Voir dans Garwood, *op. cit.*, la discussion pp. 473-474, et comparer Garwood, pl. XLVII, fig. 4, avec J. de Lapparent, pl. VI, fig. 3 et 6.

(4) E. J. Garwood, *Rock-building organisms from the lower carboniferous beds of Westmorland* (Geol. Mag., N. S., Dec. VI, vol. 1, pp. 265-271, 1914).

(5) C.-R. Acad. des Sc., 1919.

culier sur les Algues si abondantes dans les terrains néogènes de la région méditerranéenne.

Ayant choisi de consacrer cette Revue de préférence à l'exposé des études qui permettent le mieux de définir les directions nouvelles dans lesquelles se trouve engagée la science géologique, nous devons nous borner à signaler rapidement quelques autres travaux et notamment ceux qui ont trait au *terrain houiller*.

M. A. Renier a publié une série d'articles qui prennent en se succédant l'importance d'un ouvrage d'ensemble sur les *Gisements houillers de la Belgique* (1). Ce travail mériterait qu'on lui consacrât, dès qu'il aura été complété, une Revue où il serait analysé parallèlement avec les divers travaux de X. Stainier parus dans le même périodique sur la *Structure du bord Sud des bassins de Charleroi et du Centre* (2), auxquels il vient d'ajouter une étude sur la *Bande silurienne du Condroz et la faille du Midi* (3). — En France, les notes de M. Paul Bertrand sur les *Grandes divisions paléontologiques du Stéphanien du bassin de la Loire* (4), et sur la *Flore du bassin houiller de Lyon* (5), résument des observations de paléobotanique qui ont contribué à faire interpréter plus exactement la structure du bassin houiller du Gard et à orienter les recherches en vue du prolongement vers le Nord-Nord-Est, aujourd'hui acquis, du bassin houiller de Lyon, M. A. Carpentier (6) a fait des observations nouvelles sur le *Culm de l'Ouest de la France*. Signalons aussi une note de M. E. Bourgeat sur la découverte d'une lentille de houille, enrobée dans les terrains permiens, sur le bord du massif de la Serre (7) ; il ne s'agit nullement, il est vrai, d'un gisement mais d'une trouvaille qui a une portée théorique considérable, car elle entraîne la certitude que du houiller productif a existé sur le bord occidental de la région du Jura. – Pour les Pays-Bas, M. Ét. Asselberghs a présenté, dans un bon résumé

(1) Annales des Mines de Belgique, XX, 1919.

(2) Bull. Soc. géol. de Fr., si S., XIX, p. 101 (1919). — Voir aussi, Ibid., XVII, pp. 233-284 (1917), où se trouve une bibliographie complète du sujet (pp. 252-256).

(3) Ann. des Mines de Belgique, XX, 1919 et XXI, 1920.

(4) Ibid., XVIII, 1913.

(5) Bull. Soc. belge de Géol., XXX, pp. 63-76 (1920).

(6) C. R. Acad. des Sc., t. 167, p. 750 (18 nov. 1918).

(7) Ibid., t. 168, p. 174 (20 janv. 1919).

auquel nous renvoyons nos lecteurs, le *Rapport final du service des recherches minières des Pays-Bas* (1) : pour qui ne peut aborder dans leur langue les rédactions de MM. Van Waterschot, van der Gracht et Jongmans, c'est un exposé complet de la géologie des Pays-Bas, telle qu'elle existe sous le manteau épais des formations tertiaires et plus récentes, et qui pour le houiller s'accompagne d'une échelle de comparaison avec le houiller de la Belgique et de la Westphalie.

M. Leriche dans un travail intitulé : *Observations sur la constitution géologique des collines belges des environs de Bailleul et d'Ypres* (2), et M. D. Stamp dans une *Note sur la géologie du Mont-Aigu et du Mont-Kemmel* (3), ont tous deux mis à profit les circonstances exceptionnelles fournies pour l'étude des terrains tertiaires de ces collines par les tranchées, les souterrains creusés, les entonnoirs créés par les projectiles au cours de la lutte qui s'y déroula de 1914 à 1918. Une des conclusions qui se dégagent de leurs observations est que l'on peut suivre d'Ouest en Est le changement de facies qui s'opère au niveau du Panisélien et du Bruxellien : les sables glauconieux limités à Cassel au niveau du Panisélien finissent par envahir dans les collines belges tout le Bruxellien, les sables blancs se réduisant d'abord à une mince bande puis disparaissant tout à fait. Ceci fournit un exemple de plus de ces changements de facies si fréquents dans l'Eocène du Nord de la France et de la Belgique et que M. Leriche a suivis et signalés dès longtemps.

Le dernier volume paru des Annales de la Société géologique du Nord (t. XLIV), que nous venons de mentionner, débute par une notice biographique du professeur J. Gosselet, rédigée par M. Bh. Barrois (4). En même temps qu'un hommage mérité dû à l'un des Maîtres de la Géologie française, c'est un exposé remarquable de ses travaux qui ont eu pour champ principal, pendant un demi-siècle, les terrains du Nord de la France et de la Belgique. — Une autre notice (5) est consacrée à C.-Eg. Bertrand, botaniste, qui fut connu en géologie par ses études sur la structure intime des charbons examinés en lames minces, — domaine dans lequel il fut à certains égards un précurseur.

(1) Bull. Soc. géol. de Fr., si S. XIX, p. 262 (1919); voir aussi Ibid., XVIII, p. 235 (1918) et Ann. Soc. Sc. de Brux., 39e année, p. 155 (1920).

(2) Bull. Soc. belge de Géol., XXX, pp. 59-63 (1920).

(3) Ann. Soc. Géol. du Nord, XLIV, pp. 115-126, 2 cartes (1919, paru en 1920).

(4) Ibid., XLIV, pp. 10-47 (1919).

(5) Ibid., XLIV, pp. 47-64.

Un travail de J. Welsch sur l'*Argile à scrobiculaires des marais maritimes du Centre-Ouest de la France* (1) décrit l'envasement progressif du golfe qui existait primitivement sur l'emplacement de ces marais. L'atterrissement s'est effectué à l'abri de cordons littoraux successifs, les uns datant du quaternaire, les autres néolithiques ou actuels ; des dépôts tourbeux, puis la mise en place des alluvions modernes ont achevé le comblement et donné naissance à la plaine aujourd'hui drainée et cultivée. Tous ces détails ont d'autant plus d'intérêt que la comparaison s'impose et peut se faire, étape par étape, avec les atterrissements qui ont constitué la plaine maritime des Flandres : ici aussi il y eut des cordons littoraux successifs dont la position a pu être repérée, et l'argile à *Scrobicularia* provenant des colmatages récents par la mer y forme la surface du sol actuel. Notons enfin que M. Welsch admet que la côte du Poitou est demeurée fixe depuis que commença la formation de l'argile à scrobiculaires : « la mer n'a fait que reculer devant ses propres atterrissements ».

Nous relèverons enfin, à cause de la portée générale qu'offrent quelques-unes de ces observations, une note de M. Piroutet sur la *Succession des horizons d'ammonites du Toarcien et de l'Aalénien des environs immédiats de Salins (Jura)* (2). L'auteur signale, après Marcou dont il confirme d'une manière décisive l'observation, que *Hildocerus brifous* Brug. se rencontre là au niveau supérieur du Toarcien, dans la zone à *Harpoceras aalense* et *H. opalium*, c'est-à-dire bien plus haut que le niveau où on le rencontre d'ordinaire dans l'Est du bassin de Paris. M. Piroutet croit que « l'on doit voir là un exemple de survivance tardive d'une espèce dans une localité spéciale ayant présenté des conditions toutes particulières favorables à la persistance de l'espèce en question ». D'autre part, dans les Ardennes *H. brifous* existe déjà à base du Toarcien dans la zone à *Harp. falcifirum*. L'extension verticale de cette belle espèce se révèle ainsi beaucoup plus grande qu'on ne l'avait admis d'abord : c'est un fossile caractéristique non point d'une zone mais de tout l'ancien étage du Toarcien (3).

M. Piroutet signale aussi dans l'Aalénien de Salins, à la base

(1) Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e s., XIX, p. 46-92 (1919).

(2) Ibid., s. s., XIX, pp. 15-21 (1919).

(3) Dans la classification adoptée dans le Traité de Géologie de E. Haug (p. 948) l'extension de *H. Bifrons*, telle qu'elle est maintenant connue, va de la base du Toarcien jusqu'au milieu de l'Aalénien.

de la zone à *Ludwigia Murchisonae* l'existence d'un banc de calcaire dur criblé de tubulures et recouvert de rognons avec restes de coquilles entières ou brisées. « Ces rognons rappellent beaucoup ceux que l'on voit sur certaines plages marécageuses, à dépôts vaso-gréseux, découvertes à marée basse... Dans les régions tropicales les marécages en question sont justement couverts de palétuviers et de mangliers. Il est infiniment probable que les tubulures que l'on observe dans nos dépôts jurassiques sont les traces de racines de végétaux disparus... » (*op. cit.*, p. 19).

Ce rapprochement que fait M. Piroutet avec des phénomènes que le stratigraphe très averti qu'il est a eu l'avantage d'observer lui-même dans les régions tropicales, montre quel avantage ce serait pour la géologie de voir se développer l'étude détaillée des phénomènes actuels en pays tropicaux et équatoriaux. La plupart des formations paléozoïques et secondaires, voire tertiaires, que nous étudions dans nos pays d'Europe occidentale, se sont déposées dans des mers où les eaux étaient bien plus chaudes que celles de l'Atlantique nord ou de la Manche, voire de la Méditerranée, et où les conditions biologiques et lithologiques devaient donc se rapprocher bien plus de celles qui règnent aujourd'hui sur les côtes, et dans les estuaires, ou parmi les archipels situés au voisinage de l'Équateur. Tout ce qui concerne les dépôts calcaires par exemple, si largement représentés, avec toutes leurs variétés, dans nos terrains jurassiques, en serait davantage éclairé que par l'examen de nos côtes et de nos fonds de mers froides, qui sont seuls bien connus en détail, et où se déposent surtout des sables et des argiles. — La géologie a encore beaucoup à attendre pour l'*explication* des faits qu'elle observe, du développement des études océanographiques, et en particulier de celles qui auraient pour champ d'investigation les zones côtières et les parties peu profondes des océans et des mers dans les régions équatoriales et tropicales.

G. Delépine,
Professeur de géologie aux Facultés catholiques de Lille.

OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS (1)

Weber M., prof. de math. spéc. préparatoires au Lycée de Dijon. — Les Mathématiques de l'Elève Ingénieur. — I. Algèbre et Analyse. Première partie. Notions fondamentales. Trigonométrie. Algèbre (avec un choix d'exercices et de problèmes). — Classes de Mathématiques spéciales préparatoires. Cours préparatoires aux Ecoles Centrale, Navale, etc. Certificat de mathématiques générales. Ecoles techniques. — Un vol. de XIV + 495 pages (25 × 16) avec 125 fig. — Prix : 22,50 fr. Majoration temporaire : 100 %. — Paris, Dunod, 1920.

Note de l'éditeur : Dans cet ouvrage, l'auteur a entendu concilier la tendance purement théorique et abstraite des traités de Mathématiques spéciales avec les préoccupations plus utilitaires des traités de Mathématiques générales ou des livres destinés aux techniciens. Dans ce but, il a été conduit à modifier sensiblement l'ordre traditionnel et certains procédés de développement communément adoptés.

Il y a lieu d'attirer particulièrement l'attention du lecteur sur une façon plus concrète et plus accessible d'exposer la théorie des nombres complexes ou « imaginaires ». La marche à suivre s'inspire des applications physiques où interviennent ces nombres, plus que ne le fait la théorie classique, trop abstraite. Les bases du calcul algébrique sont reprises systématiquement, et appuyées constamment sur une présentation géométrique au moyen des segments et des vecteurs.

Cet ouvrage contient, en outre, l'exposé des premiers principes de la géométrie analytique et de la trigonométrie, et une théorie très élémentaire des équations algébriques. Un deuxième volume, en préparation, sera consacré à l'Analyse, fonctions de variables réelles, limites, séries, dérivées, intégrales.

Durgaprasanna Bhattacharyya, M. A., Professor of Mathematics, Barielly College, U. P. — Vector Calculus. — Un vol. de 90 pp. (21 × 14). University of Calcutta, 1920.

Table des matières : Indroduction. — Part. I. Continuity : 1. Differentiation of a Vector Function of a Scalar Variable. — 2. Integrals. — 3. The Gradient of a Scalar Function. — 4. The Linear Vector Function. — 5. The Differential Calculus of Vector Functions. — 6. Integration Theorems.

Part. II. The Steady Motion of a Solid under no Forces in Liquid extending to Infinity.

C. J. Lewis. — A Survey of Symbolic Logic. — Un vol. de IV-406 pp. (26 × 18). — Berkeley, University of California Press, 1918.

Table of contents : I. The development ot symbolic logic. — II. The classic, or Boole-Schröder algebra of logic. — III. Application of the Boole-Schröder algebra. — IV. Systems based on material implication. — V. The system of strict implication. — VI. Symbolic logic, logistic, and mathematical method.

Appendix. Two fragments from Leibnitz.

Bibliography.

(1) La Revue mentionne dans cette liste les ouvrages envoyés à la Rédaction. Cette mention est, non une recommandation, mais un accusé de réception.

L'auteur ne prétend pas fournir une encyclopédie des résultats atteints par la logique symbolique. Il essaie seulement de familiariser l'étudiant avec les différentes écoles de cette science, de caractériser la méthode propre de chacune et de mettre en relief les relations qui les unissent ; et c'est dans ce but qu'il commence par ramener à une notation commune leurs idéographies très diverses.

N. R. Campbell, a member of the staff of the research laboratories of the general electric Company, limited, London. — PHYSICS. THE ELEMENTS. — Un vol. de VII + 566 pp. (28 × 20). — Cambridge, University Press, 1920. — Prix : 40 sh.

« Ce livre est un volume d'introduction à un traité de physique qui exposera systématiquement les doctrines acceptées, en faisant ressortir clairement les propositions fondamentales sur lesquelles elles sont assises. Il comprend deux parties, l'une concernant la nature, la signification et le fondement des propositions scientifiques, l'autre contenant un examen soigneux des procédés de mesure qui caractérisent la physique et la distinguent des autres sciences. »

« La physique, pense l'auteur, a subi un grand dommage du fait que l'examen critique de ses bases a été abandonné à des mathématiciens et à des philosophes ne s'intéressant pas aux méthodes expérimentales, ou ne les connaissant pas. Il importe, à son avis, que les expérimentateurs, comme lui, indemnes de mathématiques et de philosophie, entreprennent cette enquête. »

Jeans, J. H. — THE DYNAMICAL THEORY OF GASES, 3e édition. — Un vol. de 442 pages (27 × 18) avec 26 fig. dans le texte. — Cambridge, University Press, 1921. Prix : 30 sh.

I. Introduction. — II. Théorie mathématique d'un gaz à l'état stable. — III. Propriétés physiques d'un gaz à l'état stable. — IV. Théorie mathématique d'un gaz non à l'état stable. — V. Phénomènes physiques d'un gaz non à l'état stable. — VI. Radiation et théorie des Quanta. — Appendices. Tables analytiques.

Cette édition diffère de la précédente surtout par l'extension donnée à la théorie des Quanta. — Un chapitre nouveau a été ajouté sur la dynamique des Quanta.

J. Boussinesq, Membre de l'Institut, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. — COURS DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES. Tome III. Compléments aux théories de la chaleur, de la lumière, etc. Aperçus de philosophie naturelle. — Un vol. de XLIX-417 pages (25 × 17). — Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Première partie : Complément à la théorie de la chaleur. — Seconde partie : Complément à la théorie de la lumière. — Troisième partie : Relative à d'autres branches du cours que les théories de la chaleur et de la lumière. — Quatrième partie : Réflexions et recherches sur les bases et la philosophie de la mécanique. — Cinquième partie : Problème mécanique de l'organisme animé et des pouvoirs directeurs. (Vie et volonté.) Sixième partie : Sur la loi de simplicité, comme indispensable principe directeur de l'esprit dans l'édification des sciences.

R. Ledoux-Lebard et A. Dauvillier. — LA PHYSIQUE DES RAYONS X. — Un vol. de 441 pages (25.5 × 16.5). — Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Extrait de la table des matières : I. L'émission. — II. Les rayons caractéristiques. — III. L'optique. — IV. L'absorption : 1° L'absorption par dispersion ; 2° L'absorption par fluorescence. — V. L'émission électronique : 1° L'effet photo-électrique ; 2° Cas des rayons X ; 3° L'ionisation des gaz par les rayons X ; 4° Luminescence produite par les rayons X. — VI. Les actions chimiques et biologiques : 1° Actions chimiques ; 2° Actions biologiques. — VII. La mesure : 1° Méthode d'analyse ; 2° Mesure d'intensité ; 3° Spectrométrie des rayons X ; 4° Procédés de dosage basés sur les actions chimiques. — VIII. Théories : 1° Le rayonnement indépendant ; 2° Le rayonnement caractéristique ; 3° Nature des rayons X. — IX. L'analyse des cristaux : 1° Méthode basée sur les figures de Laue ; 2° Méthode de MM. Bragg ; 3° Méthodes de Debye et Sherrer et de Hull.

A. Aubert, ancien professeur agrégé de physique au Lycée de Toulouse, Inspecteur d'Académie. — CAHIER DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE CONFORMES AUX PROGRAMMES DU 31 MAI 1912. ÉLECTRICITÉ, OPTIQUE. TRENTE-QUATRE MANIPULATIONS POUR LES CLASSES DE PREMIÈRE C ET D. — Un vol. de 195 pages (23 × 8). — Paris, Alcan, 1920. Prix : 12 fr

E. Delsol. — CONSIDÉRATIONS SUR LES UNITÉS FONDAMENTALES DE LA PHYSIQUE. — Un vol. de 31 pages (24 × 16). — Paris, Chaix, 1919.

Table des matières : I. La vitesse est un nombre absolu, le temps une longueur, la masse une forme de l'énergie. Il n'y a pas de points matériels ; il ne peut y avoir que des atomes. — II. Conséquences philosophiques. — III. Variations discontinues de la vitesse. Choc entre atomes. — IV. La théorie des gaz n'est pas une hypothèse. C'est une vérité nécessaire.

L. Silberstein, Ph. D. — REPORT ON THE QUANTUM THEORY OF SPECTRA. Un vol. de 42 pages (21 × 14). — London, Adam Hilger, 1920.

Table des matières : 1. Bibliographie. — 2. Introductory Remarks. Bohr's Assumptions and First Results. — 3-4. Rydberg's Constant and finite Mass of Nucleus. — 5. Quantizing Principles. Elliptic Orbits and Potential Multiplicity of Spectrum lines. — 6. Restricting inequalities. Quantization of Orbits in Space. — 7. Sommerfeld's Theory of Fine-Structure Hydrogen Doublets and Helium Triplets. — 8. Theory of Roentgen Spectra. — 9. Theory of the Stark-Effekt. — 10. Zeeman-Effekt. Photoelectric Effekt. Planck's Theory of Rotation Spectra. Miscellaneous Notes on Recent Work. — Index.

REFRACTIVE INDEX, ABSORPTION, WAVE-LENGTH. — ROTATORY POWER, IN RELATION TO MOLECULAR STRUCTURE. — Un vol. de 17 pages (25 × 16). — London, Adam Hilger, 1919.

Introduction. — Refractive index. — Dispersion. — Absorption. — Wave-lengths of emission and absorption spectra. — Rotatory Power.

OPTICAL METHODS IN CONTROL AND RESEARCH LABORATORIES. — Un vol. de 30 pages (23 × 15). — London, Adam Hilger.

Table des matières : Introduction. — The spectrometer and spectrograph for emission spectra. — Absorption spectra and spectrophotometry. — Refractometers. — Polarimetry

P. Theo Wulf, S. J., Professor der Physik am Ignatius Colleg in Valkenburg. — EINSTEINS RELATIVITAETSTHEORIE. Un vol. de VI-86 pages (20 × 14). — Verlagsanstalt Tyrolia, Innsbruck, 1921.

Inhaltsübersicht : I. Von Newton bis Einstein. — II. Die spezielle Relativitätstheorie Einsteins. — III Die allgemeine Relativitätstheorie. — IV. Die Beweise für die Relativitätstheorie. — V. Die Bedeutung der Relativitätstheorie für die Philosophie.

Félix Michaud, Docteur ès sciences, agrégé des sciences physiques. — ÉNERGÉTIQUE GÉNÉRALE. — Un vol. de VII-229 pages (25 × 16). — Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Table des matières : Préface. — I. L'énergie et ses transformations. — II. La conservation de l'énergie. — III. Le principe de conservation de l'énergie. Premières applications. — IV. Applications du principe de conservation de l'énergie. — V. Les facteurs de l'énergie. — VI. Les échelles de mesure des facteurs de l'énergie. — VII. Applications des principes de conservation des extensités. — VIII. Passage de l'énergie d'une forme potentielle à une forme cinétique ou inversement. — IX. Systèmes à une extensité variable. X-XI et XII. Systèmes à deux extensités variables. — XIII. Systèmes à *n* extensités variables. — XIV. Déplacement de l'équilibre. — XV. Les machines. — XVI. Groupement des systèmes. Association des machines.

Josse Ubach, S. J. — LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD EN LA FISICA MODERNA. LORENTZ, MINKOWSKI, EINSTEIN. — Un vol. de 45 pages (23 × 15.5). — Buenos-Aires, Sebastian de Amorrortu. 1920. En vente : Observatorio del Ebro-Tortosa (Espana).

Indice : I. Introduccion. — II. El movimiento absoluto y la invariancia. —

III. El experimento de Michelson y Morley. — IV. Las formulas de Lorentz. — V. Variacion de las dimensiones en un sistema movil. — VI. El tiempo local de Lorentz. — VII. Consecuencias relativistas de las formulas de Lorentz. — VIII. La nueva Mecanica. — IX. La teoria de Minkowski. — X. La relatividad generalizada de Einstein. — XI. La reforma de la ley de Newton. — XII. La aceleracion del perihelio de Mercurio. — XIII La desviacion de las rayas espectrales. — XIV. El eclipse de Mayo de 1919. — XV. Conclusion.

Dr Th. Weyl. — Les méthodes de la chimie organique, traduit par R. Cornubert, Préparateur à la Sorbonne. — Préface de M. Haller, Membre de l'Institut. — T. IV. « Monographies » (suite). — Un vol. de xx-609 pages (19 × 28) avec figures. — Prix : 35 fr. plus majoration temporaire de 100 %, soit 70 fr. — Dunod, Paris.

Les « Méthodes de la Chimie organique » dont le quatrième et dernier Tome vient de paraître, constituent un énorme guide pour le travail de laboratoire. La Chimie organique n'y est pas seulement conçue au point de vue habituel de l'étude des réactions (état initial et état final) mais encore et surtout au point de vue de la réalisation des conditions expérimentales nécessaires pour l'exécution de ces réactions.

Ce 4e volume traite des groupes nitro, nitroso, amino et imino, diazonium, aminoacides, polypeptides et quinones.

Il se termine par un chapitre inédit sur les glucosides, question à l'ordre du jour, et au développement de laquelle un savant français et ses collaborateurs ont pris une si grande part.

Ch. Coffignier, Ingénieur chimiste, lauréat de la Société chimique de France. — Les Vernis. — Un vol. de viii-640 pp. (23 × 15). (Encyclopédie de Chimie industrielle dirigée par M Matignon, professeur au Collège de France.) Grandes encyclopédies industrielles. — Paris, Baillière, 1921. — Prix : 40 fr.

Table des matières : Préface de M. Haller. — Historique. — I. Matières premières. — II. Vernis gras. — III. Vernis à l'essence. — IV. Vernis à alcool. — V. Vernis spéciaux. — Appendice.

Note des éditeurs : Ce volume constitue un traité complet de la fabrication des vernis, fabrication qui, principalement pour les vernis gras, a subi une évolution remarquable depuis une vingtaine d'années.

L'ouvrage comprend deux parties bien distinctes. La première est consacrée à une étude minutieuse de toutes les matières premières et aux procédés d'analyse permettant de les identifier.

La fabrication des vernis est exposée d'une manière particulière L'auteur étudie d'abord les procédés divers de fabrication, en faisant ressortir leurs caractères particuliers et en donnant ses idées personnelles sur leur mécanisme. Ce n'est qu'ensuite qu'il en expose la réalisation pratique.

Chaque genre de fabrication : vernis gras, vernis à l'essence, vernis à l'alcool, est suivi d'un formulaire où se trouvent réunies des formules que l'auteur ne se contente pas de reproduire, mais discute avec la compétence que lui a donnée une longue pratique industrielle.

R. S. Morrel and A. de Waele. — Rubber, Resins, Paints and Varnishes. — Un vol. de xii-236 pp. (21 × 14). — London, Baillière, 1921.

Contents : I. The rubber hydrocarbons. — II. Drying oils. — III. Resins and Pitches. — IV. 1. Pigments and Paints. 2. Linoleum, cork carpet, and flooreloth. — V. Varnishes : 1. Oil varnishes. 2. Insulating varnishes. 3. Spirit varnishes. 4. Cellulose ester varnishes. 5 Analysis of varnishes. — Bibliography. — Subject Index. — Name Index.

William Carmichael Mac Intosh, Director of the Museum and of the Gatty marine Laboratory. — The resources of the sea. Illustrated, 2d Edition. — Un vol. de xvi-352 pp. (225 × 15). — Cambridge, University Press, 1921. — Prix : 35 sh. net.

Extrait de la table des matières : I. General Review of the Resources of the Sea and the Influence of Man thereon. — II. Changes in the trawling-

vessels and their Apparatus. - Changes in the Line-boats ant their Apparatus. — Captures by Liners and Trawlers. — Trawling-ships and Areas and present condition of the Fishing Grounds. — III. General condition of the Fisheries in St Andrews Bay, 1886-96. - IV. Investigations in Frith of Forth, 1886-96. — V. Investigations in Moray Frith, 1887-97. — VI. Investigations in Frith of Clyde, 1888-97. — VII. Summary and Conclusions. — VIII. The international Investigations. — Hydrographical Department.

Emm. de Martonne, Professeur de Géographie à la Sorbonne — TRAITÉ DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE : CLIMAT — HYDROGRAPHIE — RELIEF DU SOL — BIOGÉOGRAPHIE. — Un vol de XII-924 pp. (25 × 16), 3e édition.— Paris, Colin, 1920. — Prix : 50 fr.

Table des matières : Première partie : Notions générales. I. L'évolution de la géographie — II. Forme et situation cosmique de la terre. — III. La représentation de la sphère terrestre.

Deuxième partie : Le climat. I. Les facteurs du climat. — II. La température. - III. Les mouvements de l'atmosphère. — IV. L'eau dans l'atmosphère. — V. Les types de temps — VI. Principaux types de climats. — VII. Le climat de montagne.

Troisième partie : L'hydrographie. I. Les océans : Relief — Température — Salinité. II. Mouvements des océans. — III. Les mers. — IV. Les lacs. — V. Les rivières.

Quatrième partie : Le relief du sol. I. Principes de topographie. — II. Les enseignements de la topographie. Lois générales du modelé. — III Le cycle de l'érosion fluviale. — IV. Influence des roches sur le modelé. — V. Influences tectoniques sur le relief. — VI. Reliefs volcaniques. — VII. Évolution du relief et du réseau hydrographique. — VIII. La paléogéographie. Notions sur l'évolution géologique. IX. Glaciers et Topographie glaciaire. — X. Actions éoliennes et Reliefs désertiques. — XI. La Topographie littorale

Cinquième partie : Biogéographie. I. Principes généraux de la Biogéographie. — II. Les facteurs de la Répartition des plantes. — III. La Répartition des Plantes. Les Associations végétales. — IV. Principes de Zoogéographie. La Faune aquatique. — V. Zoogéographie. Les Faunes terrestres.

Marcellin Boule. — LES HOMMES FOSSILES. ÉLÉMENTS DE PALÉONTOLOGIE HUMAINE. — Un vol. de XII-492 pp. (24 × 16). — Paris, Masson, 1921. — Prix : 40 fr.

Table des matières : I. Historique. — II. Chronologie. — III. Les primates actuels et les singes fossiles. — IV. Le Pithécanthrope. — V. Le problème de l'homme tertiaire. Les éolithes. — VI. Les hommes chelléens ou du pléistocène inférieur. — VII. L'homme de Néanderthal. — VIII. Les hommes de l'âge du Renne. — IX. Des hommes fossiles aux hommes actuels. — X. Les hommes fossiles hors de l'Europe. — XI. Conclusions générales.

Jean Freidel, Docteur ès sciences. — PERSONNALITÉ BIOLOGIQUE DE L'HOMME. — Un vol. de 268 pp. (19 × 12). — Paris, Flammarion, 1921. — Prix : 7.50 fr. net.

Table des matières : I. L'homme et la nature. — II. L'individu et l'Humanité. - III. L'individu. — IV. L'être. — V. Les jumeaux. — VI. Des degrés de la notion d'Être. — VII. L'organisme est-il une société ? — VIII. La symbiose universelle. — IX. L'évolution et le monde vivant. — X. L'évolution et l'homme. — XI. Origine de la vie. — XII. L'individu et la société. — XIII. La famille. - XIV. La race — XV. L'individualité biologique de l'homme et le problème métaphysique de la préexistence de l'âme individuelle.

Janet Charles. — CONSIDÉRATIONS SUR L'ÊTRE VIVANT. 1re Partie. RÉSUMÉ PRÉLIMINAIRE DE LA CONSTITUTION DE L'ORTHOBIONTE. — Un vol. de 80 pp. (25 × 15.5). — Beauvais, Dumontier, 1920.

Extrait de la table des matières : I. Origine et nature de l'Être vivant initial. — II. La cellule. — III. Examen sommaire des Orthobiontes de neuf formes importantes de l'Être vivant. — IV. Être vivant initial ou Phyto-zoo-flagellate.

— V. Différenciation du Phylum végétal et du Phylum animal. — VI. Végétal. — VII. Animal. — VIII. Énumération des principales divisions du Règne des Êtres vivants. — IX. Explication de la planche schématique.

Dr Gabriel Bourcet, de la Faculté de Médecine de Toulouse, ancien interne des Hôpitaux de Limoges. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU TRAITEMENT DE L'OSTÉO-MYÉLITE CHRONIQUE. INDICATIONS, TECHNIQUE, SOINS POST-OPÉRATOIRES. PRONOSTIC, STATISTIQUES ET RÉSULTATS. — Un vol. de 53 pp. (24 × 16). — Toulouse, Dirion, 1921. — Prix de vente : 3 fr.

Dr René Potier. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES DERMATO-PSYCHIES, PSEUDO-ŒDÈME, CATATONIQUE. — Un vol. de 47 pp. (24 × 16). — Toulouse, Dirion, 1921. — Prix de vente : 3 fr.

Maxime de Montmorand. — PSYCHOLOGIE DES MYSTIQUES CATHOLIQUES ORTHODOXES. — Un vol. de IX-262 pp. 22.5 × 14). — Paris, Alcan, 1920. — Prix : 15 fr.

Table des matières : I. Définition. — II. Les mystiques catholiques orthodoxes. Leurs traits distinctifs. — III. Erotisme et mysticisme. — IV. La méthode ascétique. — V. Les phénomènes mystiques. Visions et paroles surnaturelles. 1. Description. 2. Interprétation psychologique. — VI. Les états mystiques. L'Extase. 1. Description. 2. Interprétation psychologique. — VII. Conclusion.

Appendices : I. Les adieux de la Mère Marie de l'Incarnation à son fils. — II. Lettre de Ste Catherine de Sienne à son confesseur Raymond de Capone sur la mort de Niccolo Toldo. — III. Pathologie de Ste Thérèse. — IV. Marie d'Agrédo et la cité mystique de Dieu. — V. Le cas d'Achille. — VI. Sur le quiétisme. — VII. Cervantes et les mystiques.

THE SCIENTIFIC PAPERS of **Bertram Hopkinson**, fellow of King's College and professor of mechanism and applied mechanics in the University of Cambridge. Collected and arranged by **Alfred Ewing** and **Joseph Larmor.** — Un vol. de XXIII + 480 pp. (27 × 19) avec fig. dans le texte et planches hors texte. — Cambridge, University Press, 1921. — Prix : 63 sh. net.

Né le 11 janvier 1874 à Woodlea, Birmingham, Bertram Hopkinson fut tué dans un accident d'aviation, le 26 août 1918, au service de son pays.

L'ouvrage contient une notice biographique extraite des « Proceedings of the Royal Society » et 29 notes de mécanique appliquée et de physique industrielle parues dans diverses publications savantes.

Léon Guillet, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers et à l'École centrale des Arts et Manufactures. — LA TREMPE ET LE REVENU DES PRODUITS MÉTALLURGIQUES. — Un vol. de 260 pp. (19 × 12), avec 122 fig. dans le texte. — Paris, Doin, 1921. — Prix : 6 fr.

Note de l'éditeur : Ce volume expose d'une façon aussi précise que possible les théories modernes de la trempe et du revenu en détachant bien les faits expérimentaux parfaitement établis des hypothèses elles-mêmes qui peuvent varier. Il met au courant des résultats les plus nouveaux tant au point de vue de l'influence de la trempe et du revenu sur les propriétés mécaniques, physiques et chimiques, qu'au point de vue des conditions à remplir pour obtenir ces résultats.

Emile Longuet. — DE LA NÉBULEUSE A L'HOMME. Hypothèse cosmogonique et nouvelles théories sur la naissance et l'évolution de la vie terrestre. — Un vol. de 752 pp. (25 × 16.5). — Paris, Alcan, 1920.

Extrait de la table des matières : I. Le mouvement dans l'espace et dans la matière. Apparences et réalités. — II. La nébuleuse et le système solaire. — III. La terre. — IV. Les modalités d'action du mouvement et des forces physiques qui en dérivent, chez l'homme et les animaux. — V. La vie animale : son évolution trophique, sensorielle et intellectuelle.

C. Bonnegent, Licencié ès lettres et philosophie. — LA THÉORIE DE LA CERTITUDE DANS NEWMAN. Œuvre posthume publiée par M. l'Abbé **Boisne**,

Lettre-préface de M. Émile Boutroux, de l'Académie Française. — Un vol. in-8°. — Paris, Alcan, 1920. — Prix : 10 fr.

Note de l'éditeur : Dans une première partie, l'auteur expose simplement la doctrine de Newman dans la *Grammaire de l'Assentiment*, en suivant un ordre logique, auquel avait peine à se plier le génie très personnel de l'écrivain anglais.

Dans la deuxième partie, l'auteur entreprend résolument la critique du système, au nom des droits de la raison trop méconnus par l'empirisme du cardinal anglais, et dans l'intérêt de l'Apologétique chrétienne, dont l'efficacité est conditionnée par la possibilité même d'atteindre la certitude.

Dr Ph. Hauser. — Évolution intellectuelle et religieuse de l'Humanité. Tome I. — Un vol. de XIII-803 pp. (22 × 14). — Paris, Alcan, 1920. — Prix : 20 fr. net.

Note de l'éditeur : Ce travail représente l'histoire de la Raison et du Sentiment à travers le temps et l'espace, rendant compte de la contribution de chaque peuple dans les diverses époques de l'histoire du progrès des sciences, des lettres et des arts et prouvant que c'est la France qui occupe le premier rang parmi les nations qui ont versé leur sang pour la défense des droits de l'homme et la liberté des peuples.

TABLE DES MATIÈRES

DU

VINGT-NEUVIÈME VOLUME (TROISIÈME SÉRIE)

TOME LXXIX DE LA COLLECTION

Livraison de Janvier 1921

CONNAISSONS-NOUS LE PLAN DE L'UNIVERS? par **M. l'abbé Th. Moreux** 5

HISTOIRE DE LA SIMOLOGIE, par **M. F. de Montessus de Ballore** 29

LE PRINCIPE DE LA RELATIVITÉ, par **M. É. Delaye** . . . 58

L'ÉLECTRICITÉ, SUBSTANCE OU ACCIDENT? *(Suite)*, par **M. A. Witz** 72

LA RIGIDITÉ DE LA TERRE D'APRÈS DES EXPÉRIENCES RÉCENTES, par **M. Alliaume** 96

DE L'ORGANISATION SANITAIRE DE LA BELGIQUE, par **M. H. Rulot** 116

VARIÉTÉS. — I. L'œuvre scientifique de Mathieu Ricci, S. J. (1552-1610), par **H. Bosmans** 135

II. L'agriculture aux États-Unis, par le **R. P. J. Charles, S. J.** 151

III. Le Pétrole, par **M. M. Demanet** 164

BIBLIOGRAPHIE. — I. Principes usuels de nomographie avec application à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aviation, par le lieutenant-colonel d'Ocagne, **E. Goedseels** 173

II. Géométrie synthétique des unicursales de troisième classe et de quatrième ordre, par E. Bally, **L. C.** 175

III. Algèbre à deux dimensions, par M. Stuyvaert, **M. Lecat** 176

IV. Précis de calcul géométrique, par R. Leveugle, **H. D.** 178

V. Newton, par Gino Loria, **H. Bosmans**. . . . 180
VI. A History of Mathematics, by Florian Cajori, **H. Bosmans**. 181
VII. Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen Age), par B. Lefebvre, S. J., **H. Bosmans**. 184
VIII. Théorie des Hélices propulsives marines et aériennes et des avions en vol rectiligne, par A. Rateau, **C. de la Vallée Poussin**. 186
IX. Utilisation des vapeurs d'échappement dans les houillères en vue de la production d'énergie électrique, par A. Barjou, **A. W.** 188
X. Manuel de Topométrie. Opérations sur le terrain et calculs, par Jules Baillaud, **M. A.** 189
XI. Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics, par J. H. Jeans, F. R. S., **M. A.** 191
XII. Traité de mécanique rationnelle, par Paul Appell, **M. O.** 192
XIII. La résistance de l'air et l'expérience. Les conséquences, par L. Jacob, **Ph. du P.** 195
XIV. Lois mathématiques de la résistance des fluides, par H. Willotte, **Ph. du P.** 203
XV. Résistance et construction des bouches à feu. Autofrettage, par L. Jacob, **Ph. du P.** . . . 207
XVI. La théorie électrique moderne, par Norman R. Campbell, **V. S.** 210
XVII. Space, time and gravitation, par Eddington, **H. Dopp**. 212
XVIII. Introduction à la théorie des courants téléphoniques et de la radiotélégraphie, par J. B. Pomey, **R. D. M.** 214
XIX. Où en est la météorologie, par Alphonse Berget, **V. S.** 215
XX. Traité élémentaire de chimie, par P. Bruylants, **J. Pauwels, S. J.** 216
XXI. Ozone, par E. K. Rideal, **M. Lecat** 219
XXII. I. Recherches sur la conformation et le développement des derniers segments abdominaux chez les orthoptères, par L. Chopard ; II. Contribution anatomique et physiologique à l'étude de la reproduction chez les Locustiens. La ponte et l'éclosion, par P. Cappe de Baillon, **F. Carpentier** 220
XXIII. Lehrbuch der experimentellen Psychologie, par J. Fröbes, S. J., **J. Maréchal, S. J.** 222
XXIV. Les paralogismes du rationalisme, par Louis Rougier, **J. Maréchal, S. J.** 225

XXV. Cours de Philosophie, par le P. Ch. Lahr, S. J., **F. X. Jansen, S. J.** 234
XXVI. Essai de Philosophie générale élémentaire, par Henri Guillou, **R. Lange** 235
XXVII. Religione e scienza, par Fr. Gemelli, O. F. M., **Pierre Charles, S. J.** 236

REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES.
ETHNOGRAPHIE, par **M. l'abbé Claerhout** 238
ENTOMOLOGIE, par le **R. P. Longin Navas, S. J.** . 246
VACCINOTHÉRAPIE, par **M. le docteur L. Fouarge** . 252
SCIENCES TECHNIQUES, par **M. Maurice Demanet** . 259
OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS 271

Livraison d'Avril 1921

LES DIVERSES FORMES DE L'ÉNERGIE RAYONNANTE, par **M. Ém. Delaye**. 281
L'ORGANISATION ET LE TIR DE L'ARTILLERIE, par **M. le Vte Robert d'Adhémar** 295
HISTOIRE DE LA SISMOLOGIE *(Suite et fin)*, par **M. F. de Montessus de Ballore** 320
LE GISEMENT DE POTASSE ALSACIEN ET L'ÉTAT ACTUEL DE SON EXPLOITATION, par **M. Camille Matignon** 351
L'ÉLECTRON. GRAIN D'ÉLECTRICITÉ, par **M. Aimé Witz** . . 367
PROGRÈS ET TENDANCES DANS L'ÉVOLUTION VÉGÉTALE, par **M. le Chanoine V. Grégoire** 401

VARIÉTÉS. — I. Une cosmogonie mathématique, par **M. Alliaume** 430
II. A propos d'annotations météorologiques anciennes, par **M. É. Vanderlinden** 436
III. Les postes radiotélégraphiques au Congo Belge, par **M. R. Thiéry** 440
IV. La culture intensive aux États-Unis, par le **R. P. J. Charles, S. J.** 455

BIBLIOGRAPHIE. — I. Œuvres complètes de Christian Huygens, publiées par la Société Hollandaise des Sciences. Tome quatorzième. Calcul des Probabilités. Travaux des Mathématiques pures, par **H. Bosmans, S. J.** 466
II. A History of the conceptions of limits and fluxions in Great Britain from Newton to Woodhouse, by Florian Cajori, Ph. D., **H. Bosmans, S. J.** . . . 471

III. Bio-bibliographie de Gemma Frisius, fondateur de l'Ecole Belge de Géographie, de son fils Corneille et de ses neveux, les Arsenius, par Fernand van Ortroy, **H. Bosmans, S. J.** 473
IV. Eléments d'algèbre vectorielle et d'analyse vectorielle, par L. Silberstein, **H. Dopp** 477
V. The theory of the Imaginary in Geometry, together with the Trigonometry of the Imaginary, par J. L. S. Hatton, M. A., **M. Lecat** 478
VI. An introduction to Combinatory Analysis, par le major P. A. Mac Mahon, **M. Lecat** 480
VII. Statique. Dynamique, par M. Stuyvaert, **H. Dopp** 480
VIII. Les étoiles simples, par F. Henroteau, **M. A.** . 481
IX. Annuaire pour l'an 1921, publié par le Bureau des Longitudes, **M. A.** 482
X. Où en est l'Astronomie ? par l'abbé Th. Moreux, **J. Gaillard, S. J.** 482
XI. Calcul des organes des machines, par J. Boulvin, **J. J.** 484
XII. Résistance des matériaux et Élasticité, par Gaston Pigeaud, **Ph. du P.** 485
XIII. Essai d'un traité élémentaire de Physique selon les théories modernes, par J. Tillieux, **D. T.** . . 489
XIV. Zur Elementaranalyse der Relativitaetstheorie von Prof. Dr Isenkrahe, **H. Dopp** 491
XV. Cours de Chimie. Lois générales ; Métalloïdes, par M. Boll, **H. De Greeff, S. J.** 493
XVI. Traité de Chimie Physique, par William C. Mc. Lewis ; traduit par H. Vigneron, **H. De Greeff, S. J.** 494
XVII. Organic Medicinal Chemicals, by M. Barrowcliff ; **F. M.** 496
XVIII. Précis de Chimie analytique, par G. Denigès, **P. W.** 497
XIX. Des colloïdes métalliques. Propriétés et préparations, par Paul Bary, **J. P.** 498
XX. La chimie à la portée de tous, par L. Hickisch, **J. P.** 500
XXI. La faune continentale du terrain houiller du Nord de la France, par Pierre Pruvost, **G. Delépine** . 500
XXII. Anatomie et Physiologie végétales, par L. J. Dalbis, **R. Lange, S. J.** 503
XXIII. Anatomie et physiologie animales, par L. J. Dalbis, **R. Lange, S. J.** 505
XXIV. Le mystère des abeilles, par Eug. Evrard, **R. Lange, S. J.** 506

XXV. Les problèmes de la philosophie et leur enchaînement scientifique. Le donné et l'objectif, par Paul Dupont ; Psychologie du raisonnement, par Eugenio Rignano ; Disputationes metaphysicae de Actu et Potentia, par St. de Backer, S. J., **J. Maréchal, S. J.** 508
XXVI. Le mouvement biologique en Europe, par Georges Bohn, **J. Maréchal, S. J.** 515
XXVII. Le rôle des sciences dans l'éducation, par René Paucot, **R.** 515
XXVIII. La physiologie, par Maurice Arthus 519
XXIX. The principles of ante natal and post natal child physiology pure and applied, par M. W. Feldman. 520
XXX. De l'évaluation de l'aptitude physique au service militaire des jeunes sujets, par M. le Dr Adrien Besson, **Dr Vervaeck** 521
XXXI. Problèmes sociaux du travail industriel, par Max Turmann, **V. F.** 522
XXXII. Le travail industriel aux États-Unis, **V. F.** . . 522
XXXIII. Les peuples d'Extrême-Orient. La Chine, par Ém. Hovelaque, **F. X. Jansen, S. J.** 523
Revue des Recueils périodiques.
Géologie, par **M. l'abbé Delépine** 526
Ouvrages récemment parus 539

Louvain. — Imp. F. Ceuterick, rue Vital Decoster, 60.

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XXIX — 20 JANVIER 1921

(QUARANTIÈME ANNÉE ; TOME LXXIX DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(M. F. Willaert)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1921

LIVRAISON DE JANVIER 1921 (1)

I. CONNAISSONS-NOUS LE PLAN DE L'UNIVERS?, par **M. l'abbé Th. Moreux**, p. 5.

II. HISTOIRE DE LA SISMOLOGIE, par **M. de Montessus**, p. 29.

III. LE PRINCIPE DE LA RELATIVITÉ, par **M. É. Delaye**, p. 58.

IV. L'ÉLECTRICITÉ, SUBSTANCE OU ACCIDENT? (suite), par **M. A. Witz**, p. 72.

V. LA RIGIDITÉ DE LA TERRE D'APRÈS DES EXPÉRIENCES RÉCENTES, par **M. Alliaume**, p. 96.

VI. DE L'ORGANISATION SANITAIRE DE LA BELGIQUE, par **M. H. Rufot**, p. 116.

VII. VARIÉTÉS. — I. *L'Œuvre scientifique de Mathieu Ricci, S. J., (1552-1610)*, par **H. Bosmans**, p. 135. — II. *L'Agriculture aux États-Unis*, par le **R. P. J. Charles, S. J.**, p. 151. — III. *Le Pétrole*, par **M. M. Demanet**, p. 164.

VIII. BIBLIOGRAPHIE. — I. Principes usuels de nomographie avec application à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aviation, par le lieutenant-colonel d'Ocagne, **E. Goedseels**, p. 173. — II. Géométrie synthétique des unicursales de troisième classe et de quatrième ordre, par E. Bally, **L. S.**, p. 175. — III. Algèbre à deux dimensions, par M. Stuyvaert, **M. Lecat**, p. 176. — IV. Précis de Calcul géométrique, par R. Leveugle, **H. D.**, p. 178. — V. Newton, par Gino Loria, **H. Bosmans**, p. 180. — VI. A History of Mathematics by Florian Cajori. **H. Bosmans**, p. 181. — VII. Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen-Age), par B. Lefebvre, S. J., **H. Bosmans**, p. 184. — VIII. Théorie des Hélices propulsives marines et aériennes et des avions en vol rectiligne, par A. Rateau, **C. de la Vallée Poussin**, p. 186. — IX. Utilisation des vapeurs d'échappement dans les houillières en vue de la production d'énergie électrique, par A. Barjou, **A. W.**, p. 188. — X. Manuel de Topométrie. Opérations sur le terrain et calculs, par Jules Baillaud, **M. A.**, p. 189. — XI. Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics, par J. H. Jeans, F. R. S., **M. A.**, p. 191. — — XII. Traité de Mécanique rationnelle, par Paul Appell, **M. O.**, p. 192. — XIII. La résistance de l'air et l'expérience. Les conséquences, par L. Jacob, **Ph. du P.**, p. 195. — XIV. Lois mathématiques de la résistance des fluides, par H. Willotte, **Ph. du P.**, p. 203. — XV. Résistance et construction des bouches à feu. Autofrettage, par L. Jacob, **Ph. du P.**, p. 207. — XVI. La théorie électrique moderne, par Norman R. Campbell, **V. S.**, p. 210. — XVII. Space, time and gravitation, par Eddington. **H. Dopp**, p. 212. — XVIII. Introduction à la théorie des courants téléphoniques et de la radiotélégraphie, par J. B. Pomey, **R. D. M.**, p. 214. — XIX. Où en est la météorologie, par Alphonse Berget, **V. S.**, p. 215. — XX. Traité élémentaire de chimie, par P. Bruylants, **J. Pauwels, S. J.**, p. 216. — XXI. Ozone, par E. K. Rideal, **M. Lecat**, p. 219. — XXII. I. Recherches sur la conformation et le développement des derniers segments abdominaux chez les orthoptères, par L. Chopard ; II. Contribution anatomique et physiologique à l'étude de la reproduction chez les Locustiens. La ponte et l'éclosion, par P. Cappe de Baillon, **F. Carpentier**, p. 220. — XXIII. Lehrbuch der experimentellen Psychologie, par J. Fröbes, S. J., **J. Maréchal, S. J.**, p. 222. — XXIV. Les paralogismes du rationalisme, par Louis Rougier, **J. Maréchal, S. J.**, p. 225. — XXV. Cours de Philosophie, par le P. Ch. Lahr, S. J., **F. X. Jansen, S. J.**, p. 234. — XXVI. Essai de Philosophie générale élémentaire, par Henri Guillou, **R. Lange**, p. 235. — XXVII. Religione e scienza, par Fr. Gemelli, O. F. M., **Pierre Charles, S. J.**, p. 236.

IX. REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — Ethnographie, par **M. l'abbé Claerhout**, p. 238. — Entomologie, par le **R. P. Longin Navas, S. J.**, p. 246. — Vaccinothérapie, par **M. le docteur L. Fouarge**, p. 252. — Sciences techniques, par **M. Maurice Demanet**, p. 259.

OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS.

---

(1) Cette livraison n'a pu paraître que le 12 février, à cause de circonstances dont la Rédaction n'est pas responsable.

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, t. I à t. XXXIX, 1875 à 1920. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. **20 00**

TABLE ANALYTIQUE des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de . . . . . fr. **3 00**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, commencée en 1902.
Les deux volumes annuels, in-8° . . fr. **20 00** (fr. **40 00** à partir de 1920)

TABLE ANALYTIQUE des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de XII-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de . fr. **5 00** (pour les abonnés 2 fr.)

Ph. Gilbert. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages . . . . . fr. **11 25**

DISCUSSION SUR LE FŒTICIDE MÉDICAL. Brochure in-8° de 38 pp. (1904) (épuisé) . . . . . fr. **1 00**

LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveleye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905). . fr. **2 00**

LES PORTS ET LEUR FONCTION ÉCONOMIQUE : **T. I.** *Introduction*, Éd. Van der Smissen. I. *La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque*, H. Francotte. II. *Bruges au Moyen âge*, G. Eeckhout. III. *Barry*, H. Laporte. IV. *Beira*, Ch. Morisseaux. V. *Liverpool*, P. de Rousiers. VI. *Anvers*, E. Dubois et M. Theunissen. VII. *Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé) (1). — **T. II.** VIII. *Londres*, G. Eeckhout. IX. *Délos*, A. Roersch. X. *Rotterdam*, J. Charles. XI. *Gênes au Moyen âge*, J. Hanquet. XII. *Marseille*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. III.** XIII. *Le Port moderne de Gênes*, M. Theunissen. XIV. *Ostende*. L.-Th. Léger. XV. *Jaffa*, P. Gendebien. XVI. *Lisbonne*, Ch. Morisseaux. XVII. *Le Havre*, G. Blondel. XVIII. *Hambourg*, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. *Rio-de-Janeiro*, F. Georlette. XX. *Han-Kow*. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. — **T. IV.** XXI. *Barcelone et Bilbao*, J. Charles. XXII. *Buenos-Aires*, M. Theunissen. XXIII. *Brême*, J. Charles. XXIV. *New York*, Paul Hagemans. XXV. *Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent*, Alphonse Roersch. XXVI. *Shanghaï*, A. A. Fauvel. XXVII. *Zeebrugge*, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. V.** XXVIII. *Rouen*, G. Blondel. XXIX. *Montréal*, M. Dewavrin. XXX. *Seattle et Tacoma*, M. Rondet-Saint. XXXI. *Trieste, Fiume, Venise*, M. Dewavrin. XXXII. *Venise au Moyen âge*, C. Terlinden. XXXIII. *Les ports du Nord-Est de l'Angleterre*, J. Meuwissen. — *Conclusions*, G. Blondel. — *Appendices* : *L'administration des Ports*, J. Charles, S. J.- *L'industrie des transports maritimes*, H. Mansion. Prix : 3 francs

SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) . . . . . fr. **0 75**

DE LA DÉPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in 8° de 29 pages (1908. fr. **0 75**

Éd. de Moreau. La Bibliothèque de l'Université de Louvain « 1636-1914 ». Un vol. in-8° de 114 pp., avec 10 planches hors texte (1918) . fr. **4 00**

E. Ariès, correspondant de l'Institut. Thermodynamique. Propriétés générales des fluides. Un vol. in-8° de 68 pages (1920) . . . . . fr. **4 00**

B. Lefebvre, S. J. Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen-Age). Un vol. in-8° de IV-154 pages (1920) . . . . . fr. **3 00**

---

(1) On peut trouver les articles de ce premier volume épuisé dans les livraisons d'avril et juillet 1906 de la *Revue des Questions scientifiques*.

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

TROISIÈME SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de deux séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891) ; la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901). La livraison de janvier 1902 a inauguré la **troisième série**.

La revue paraît en livraisons trimestrielles, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

La **troisième partie** consiste en une **Revue des Revues et des Publications périodiques**, où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

Chaque livraison contient ordinairement aussi un ou plusieurs articles de **Variétés**.

CONDITIONS D'ABONNEMENT

Le prix d'abonnement à la Revue des Questions scientifiques est de **37 francs** par an pour la Belgique, **39 francs** pour la France et **44 francs** pour les autres pays. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles jouissent d'une réduction de **5 francs**.

Table analytique des cinquante premiers volumes de la Revue. Un vol. du format de la Revue de XII-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

Des volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

S'adresser pour tout ce qui concerne la **Rédaction** *et l'*Administration *au Secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, Louvain.*

Une Notice sur la Société scientifique, son but, ses travaux, est envoyée gratuitement à ceux qui en font la demande au Secrétariat.

Louvain. — Imp. F. Ceuterick, rue Vital Decoster, 60.

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XXIX — 20 AVRIL 1921

(QUARANTIÈME ANNÉE ; TOME LXXIX DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(M. F. Willaert)
II, RUE DES RÉCOLLETS, II

1921

LIVRAISON D'AVRIL 1921

I. LES DIVERSES FORMES DE L'ÉNERGIE RAYONNANTE, par **M. Émile Delaye**, p. 281.

II. L'ORGANISATION ET LE TIR DE L'ARTILLERIE, par **M. le Vte Robert d'Adhémar**, p. 295.

III. HISTOIRE DE LA SISMOLOGIE (suite et fin), par **M. F. de Montessus de Ballore**, p. 320.

IV. LE GISEMENT DE POTASSE ALSACIEN ET L'ÉTAT ACTUEL DE SON EXPLOITATION, par **M. Camille Matignon**, p. 351.

V. L'ÉLECTRON, GRAIN D'ÉLECTRICITÉ, par **M. Aimé Witz**, p. 367.

VI. PROGRÈS ET TENDANCES DANS L'ÉVOLUTION VÉGÉTALE, par **M. le Chanoine V. Grégoire**, p. 401.

VII. VARIÉTÉS. — I. *Une Cosmogonie mathématique*, par **M. Alliaume**, p. 430. — II. *A propos d'annotations météorologiques anciennes*, par **M. E. Vanderlinden**, p. 436. — III. — *Les postes radiotélégraphiques au Congo Belge*, par **M. R. Thiéry**, p. 441. — IV. *La Culture intensive aux Etats-Unis*, par le **R. P. J. Charles, S. J.**

VIII. BIBLIOGRAPHIE. — I. Œuvres complètes de Christian Huygens, publiées par la Société Hollandaise des Sciences Tome quatorzième. Calculs des Probabilités. Travaux de Mathématiques pures, **H. Bosmans**, p. 466. — II. A History of the conceptions of limits and fluxions in Great Britain from Newton to Woodhouse, by Florian Cajori, Ph D., **H. Bosmans**, p. 471. — III. Bio-bibliographie de Gemma Frisius, fondateur de l'Ecole Belge de Géographie, de son fils Corneille et de ses neveux, les Arsenius, par Fernand van Ortroy, **H. Bosmans**, p. 473. — IV. Eléments d'algèbre vectorielle et d'analyse vectorielle, par L. Silberstein, **H. Dopp**, p. 477. — V. The theory of the Imaginary in Geometry, together with the Trigonometry of the Imaginary, par G. L. S. Hatton, M. A., **M. Lecat.**, p. 478. — VI. An introduction to Combinatory Analysis, par le major P. A. Mac Mahon, **M. Lecat**, p. 480. — VII. Statique. Dynamique, par M. Stuyvaert, **H. Dopp**, p. 480. — VIII. Les étoiles simples, par F. Henroteau, **M. A.**, p. 481. — IX. Annuaire pour l'an 1921, publié par le Bureau des Longitudes, **M. A.**, p. 482. — X. Où en est l'Astronomie ? par l'abbé Th. Moreux, **J. Gaillard, S. J.**, p. 482. — XI. Calcul des organes des machines, par J. Boulin, **J. J.**, p. 484. — XII. Résistance des matériaux et Elasticité, par Gaston Pigeaud, **Ph. du P.**, p. 485. — XIII. Essai d'un traité élémentaire de Physique selon les théories modernes, par J. Tillieux, **D. T.**, p. 489. — XIV. Zur Elementaranalyse der Relativitaetstheorie von Prof. Dr C. Isenkrahe, **H. Dopp**, p. 491. — XV. Cours de Chimie. Lois générales ; Métalloïdes par M. Boll, **H. De Greeff, S. J.**, p. 493. — XVI. Traité de Chimie Physique, par William C. Mc. Lewis ; traduit par H. Vigneron, **H. De Greeff, S. J.**, p. 494. — XVII. — Organic Medicinal Chemicals, by M. Barrowcliff, **F. M.**, p. 496. — XVIII. Précis de Chimie analytique, par G. Denigès, **P. W.**, p. 497. — XIX. Des colloïdes métalliques. Propriétés et préparations, par Paul Bary, **J. P.**, p. 498. — XX. La chimie à la portée de tous, par L. Hickisch, **J. P.**, p. 500. — XXI. La faune continentale du terrain houiller du Nord de la France, par Pierre Pruvost, **G. Delépine**, p. 500. — XXII. Anatomie et Physiologie végétales, par L. J. Dalbis, **R. Lange, S. J.** p. 503. — XXIII. Anatomie et physiologie animales, par L. J. Dalbis, **R. Lange, S. J.**, p. 505. — XXIV. Le mystère des abeilles, par Eug. Evrard, **R. Lange, S. J.**, p. 506. — XXV. Les problèmes de la philosophie et leur enchaînement scientifique. Le donné et l'objectif, par Paul Dupont ; Psychologie du raisonnement, par Eugenio Rignano ; Disputationes metaphysicae de Actu et Potentia, par St. de Bocker, S. J., **J. Maréchal, S. J.**, p. 508. — XXVI. Le mouvement biologique en Europe, par Georges Bohn, **J. Maréchal, S. J.**, p. 515. — XXVII. Le rôle des sciences dans l'éducation, par René Paucot, **R.**, p. 515. — XXVIII. La physiologie, par Maurice Arthus, p. 519. — XXIX. The principles of ante natal and post natal child physiology pure and applied, par W. M. Feldman, p. 521. — XXX. De l'évaluation de l'aptitude physique au service militaire des jeunes sujets, par le Dr Adrien Besson, **Dr Vervaeck**, p. 521. — XXXI. Problèmes sociaux du travail industriel, par Max Turmann, **V. F.**, p. 522. — XXXII. Le travail industriel aux États-Unis, **V. F.**, p. 522. — XXXIII. Les peuples d'Extrême-Orient. La Chine, par Émile Hovelaque, **F. X. Jansen, S. J.**, p. 523.

IX. REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — Géologie, par **M. l'abbé Delépine**, p. 526.

OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS, p. 539.

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, t. I à t. XXXIX, 1875 à 1920. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. **20 00**

TABLE ANALYTIQUE des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de . . . . . fr. **3 00**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, commencée en 1902.
Les deux volumes annuels, in-8°. fr. **20 00** (fr. **40 00** à partir de 1920)

TABLE ANALYTIQUE des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de XII-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de . fr. **5 00** (pour les abonnés 2 fr.)

Ph. Gilbert. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages . . . . . fr. **11 25**

DISCUSSION SUR LE FŒTICIDE MÉDICAL. Brochure in-8° de 38 pp. (1904) (épuisé) . . . . . fr. **1 00**

LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveleye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905). . fr. **2 00**

LES PORTS ET LEUR FONCTION ECONOMIQUE : T. I. *Introduction*, Éd. Van der Smissen. I. *La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque*, H. Francotte. II. *Bruges au Moyen âge*, G. Eeckhout. III. *Barry*, H. Laporte. IV. *Beira*, Ch. Morisseaux. V. *Liverpool*, P. de Rousiers. VI. *Anvers*, E. Dubois et M. Theunissen. VII. *Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé) [1]. — **T. II.** VIII. *Londres*, G. Eeckhout. IX. *Délos*, A. Roersch. X. *Rotterdam*, J. Charles. XI. *Gênes au Moyen âge*, J. Hanquet. XII. *Marseille*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. III.** XIII. *Le Port moderne de Gênes*, M. Theunissen. XIV. *Ostende*. L.-Th. Léger. XV. *Jaffa*, P. Gendebien. XVI. *Lisbonne*, Ch. Morisseaux. XVII. *Le Havre*, G. Blondel. XVIII. *Hambourg*, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. *Rio-de-Janeiro*, F. Georlette. XX. *Han-Kow*. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. — **T. IV.** XXI. *Barcelone et Bilbao*, J. Charles. XXII. *Buenos-Aires*, M. Theunissen. XXIII. *Brême*, J. Charles. XXIV. *New York*, Paul Hagemans. XXV. *Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent*, Alphonse Roersch. XXVI. *Shanghaï*, A. A. Fauvel. XXVII. *Zeebrugge*, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. V.** XXVIII. *Rouen*, G. Blondel. XXIX. *Montréal*, M. Dewavrin. XXX. *Seattle et Tacoma*, M. Rondet-Saint. XXXI. *Trieste, Fiume, Venise*, M. Dewavrin. XXXII. *Venise au Moyen âge*, C. Terlinden. XXXIII. *Les ports du Nord-Est de l'Angleterre*, J. Meuwissen. — *Conclusions*, G. Blondel. — *Appendices : L'administration des Ports*, J. Charles, S. J.- *L'industrie des transports maritimes*, H. Mansion. Prix : 3 francs

SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) . . . . . fr. **0 75**

DE LA DEPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in 8° de 29 pages (1908. fr. **0 75**

Éd. de Moreau. La Bibliothèque de l'Université de Louvain « 1636-1914». Un vol. in-8° de 114 pp., avec 10 planches hors texte (1918) . fr. **4 00**

E. Ariès, correspondant de l'Institut. Thermodynamique. Propriétés générales des fluides. Un vol. in-8° de 68 pages (1920) . . . . . fr. **4 00**

B. Lefebvre, S. J. Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen-Age). Un vol. in-8° de IV-154 pages (1920) . . . . . fr. **3 00**

---

[1] On peut trouver les articles de ce premier volume épuisé dans les livraisons d'avril et juillet 1906 de la *Revue des Questions scientifiques*.

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

TROISIÈME SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de deux séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891); la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901). La livraison de janvier 1902 a inauguré la **troisième série.**

La revue paraît en livraisons trimestrielles, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

La **troisième partie** consiste en une **Revue des Revues et des Publications périodiques**, où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

Chaque livraison contient ordinairement aussi un ou plusieurs articles de **Variétés**.

CONDITIONS D'ABONNEMENT

Le prix d'abonnement à la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES est de **37 francs** par an pour la Belgique, **39 francs** pour la France et **44 francs** pour les autres pays. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles jouissent d'une réduction de **5 francs.**

Table analytique des cinquante premiers volumes de la REVUE. Un vol. du format de la REVUE de XII-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

Des volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

S'adresser pour tout ce qui concerne la **Rédaction** *et l'*__Administration__ *au Secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, Louvain.*

Une Notice sur la Société scientifique, son but, ses travaux, est envoyée gratuitement à ceux qui en font la demande au Secrétariat.

Louvain. — Imp. F. Ceuterick, rue Vital Decoster, 60.

iques Bruxelles
021 22-88530

AMNH LIBRARY
100226279